М. Иванов-ский

# ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ

Детгиз
1957

SHOUT
SHARE
IT

# Annotation

Книга М. Ивановского «Законы движения» знакомит читателей с основными законами механики и с историей их открытия. Наряду с этим в ней рассказано о жизни и деятельности великих ученых Аристотеля, Галилея и Ньютона.

Книга рассчитана на школьников среднего возраста.

Ввиду скоропостижной смерти автора рукопись осталась незаконченной. Работа по подготовке ее к печати была проведена Б. И. Смагиным. При этом IV, V, VI и VII главы подверглись существенной переработке. Материал этих глав исправлен и дополнен новыми разделами.

- Михаил Ивановский
  - 
  - АРИСТОТЕЛЬ СТАГИРАТ
    - 
    - Век рабства
    - Школа досуга
    - Академия Платона
    - Основание Ликея
    - «Механикэ» — хитрость
    - Движимое движется
    - Презренный опыт
    - Судьба ученого
  - ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ
    - 
    - Детство Галилея
    - Знакомство с Аристотелем
    - Ответ на вопрос
    - Первое открытие
    - Спор с перипатетиками
    - Маленькая неудача
    - Друзья Галилея
    - Потеря веса
    - Сопротивление воздуха
    - Ошибка Аристотеля
    - Ускорение силы тяжести
    - Самое важное открытие
    - Последние годы жизни
  - ПЕРВЫЙ ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ
    - 
    - Школьные годы Ньютона

- Буржуазия захватывает власть
- Юноша становится ученым
- На плечах гигантов
- Вес — это сила
- Масса и вес
- Первый закон
- По инерции

○ ВТОРОЙ ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ

- 
- Сила изменяет скорость
- Два килограмма
- Количество движения
- Действенность закона
- Пойманная пуля

○ СИЛЫ ТРЕНИЯ

- 
- Семейство помех
- Хитрость машиниста
- Невидимый тормоз
- Скорость падения
- Непростая задача
- Воздушная броня
- Сопротивление воды
- Первое предположение
- Неожиданный результат
- «Лекарство от трения»
- Возникновение теплоты
- Скользкость льда
- Польза трения
- Дорога поворачивает машину
- Поворот торможением
- Мир без трения

○ ЗАКОН ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

- 
- Дни Ньютона
- Готемский градоначальник
- Опыты Ньютона
- Содействие дороги
- «Пешком» по столбу
- Белка в колесе
- Наказание забывчивых
- Почему движется только паровоз
- Парашютист и санки
- Действие и противодействие

        - Разрушители машин
    - ПОЧЕМУ ЛЕТИТ РАКЕТА?
        -
        - Тележка Ньютона
        - Вертушка Герона
        - Китайская ракета
        - Падающая кошка
        - Водометный катер
        - Отдача и откат
        - Дульный тормоз
        - Реактивная артиллерия
        - Вековая мечта
        - «Исправление» книги
- notes
    - 1
    - 2
    - 3

# Михаил Ивановский
# ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ

ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

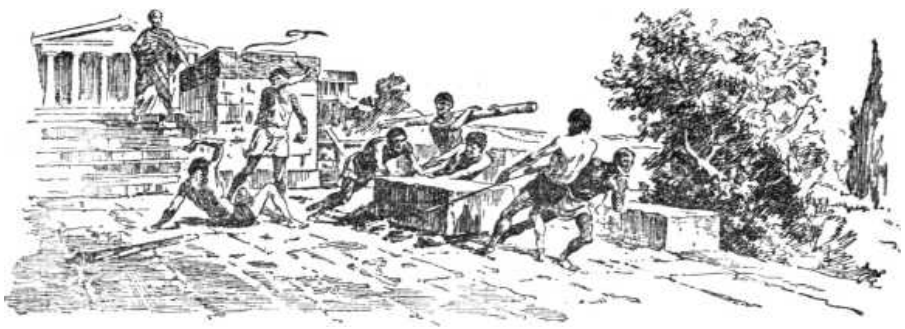
М. Ивановский

# ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ

Эта книга
рассказывает о том,
как были открыты
Законы движения;
история их
служит примером того,
с каким трудом
даже сравнительно простые
и стройные
пробивают себе дорогу
сквозь ошибки
и заблуждения

Государственное Издательство
ДЕТСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Министерства Просвещения РСФСР
Москва 1957

## АРИСТОТЕЛЬ СТАГИРАТ
## Глава первая
## о том, как ученые древнего мира, еще не умея отличать истинное от кажущегося и не понимая, что свои заключения надо проверять опытами, создали ошибочные законы движения



# Век рабства

В 384 году до начала нашего летоисчисления, то есть две тысячи триста сорок один год назад, в семье греческого врача Никомаха родился мальчик, которого назвали Аристотелем. Отец Аристотеля был придворным медиком македонского даря Аминты и жил в столице Македонии Эдессе. Когда Аминта умер, Никомаха переехал в город Стагир, расположенный близ устья протока, соединяющего озеро Бесик со Стримонским заливом Эгейского моря. Ныне этот залив называется Орфани. Там, в Стагире, и родился Аристотель, получивший, по обычаям того времени, прозвище Стагирит.

Мальчик рос, окруженный заботами родителей и рабов. Сначала за ним ухаживала рабыня-няня; потом, когда Аристотель подрос и научился ходить, к нему приставили раба-мужчину, называвшегося «педагог». У нас это слово утратило свое прежнее значение; теперь педагогами называют учителей, а в древней Греции оно означало: «тот, кто водит ребенка за руку». Обычно в «педагоги» выбирали раба, ставшего неспособным к тяжелой работе в поле или по дому, и он следил за ребенком, а иногда и учил его, если сам что-либо знал.

Аристотель с малых лет видел, что рабы — это молчаливые, плохо одетые люди, которые всегда трудятся. В доме его отца они вели домашнее хозяйство, обрабатывали землю, ухаживали за виноградником и садом, пасли скот, носили воду, — за что их иногда называли «говорящий скот». Отец же, как и все остальные свободные люди, никогда и ничего сам не делал по хозяйству, он только приказывал, распоряжался и присматривал за работой рабов. В свободное время он много читал или принимал гостей. Они рассказывали друг другу новости, беседовали о событиях, происшедших в Греции, Персии или Македонии, шутили, смеялись, устраивали веселые пиры и пели песни.

Когда Аристотелю исполнилось пятнадцать лет, его отец умер и воспитанием мальчика занялся опекун. Но порядок в доме от этого ничуть не изменился: рабы работали, свободные люди занимались чем хотели. Никто из взрослых не говорил мальчику, что рабство несправедливо; наоборот, все утверждали, что греки — это свободный и благородный народ, который существует на свете для того, чтобы повелевать, а все остальные люди — это варвары, предназначенные судьбой служить грекам.

Впоследствии Аристотель узнал, что рабами могут быть не только иноземцы-военнопленные, но и греки. Если бедняк задолжает богатому денег больше, чем сможет отдать, то он, его

жена и дети становятся рабами этого богача.

Так был устроен мир в древности: человеческое общество делилось на свободных и рабов. И Аристотель думал, что иначе быть не может.

# Школа досуга

Семи лет Аристотель пошел в школу, открытую в Стагире одним обедневшим человеком, приехавшим из Афин — самого большого греческого города, славившегося своей красотой и образованностью граждан. В этой школе Аристотель пробыл десять лет.

У древних греков место для какого-либо занятия и само занятие часто называлось одним и тем же словом. Греческое слово «схоле», от которого образовалось наше слово «школа», означало место, где занимаются дети, и в то же время — отдых и занятия на досуге.

Схоле могли посещать только дети богачей-рабовладельцев. Им незачем было выполнять грязную работу или заниматься тяжелым трудом — они должны были уметь приказывать и развлекаться. Поэтому в греческой школе — схоле детей учили проводить время так, чтобы не было скучно: учили петь, играть и слушать рассказы взрослых. Там преподавали музыку и заставляли читать стихи Гомера, Гесиода и других древнегреческих поэтов. Потом, когда мальчикам исполнялось двенадцать лет, они начинали посещать гимнастическую школу: учились бегать, прыгать, бороться, плавать, метать копье и диск, ездить верхом. Попутно они знакомились с правилами счета и письма.

Однако маленькому Аристотелю приходилось заниматься немного больше, чем остальным детям. В их семье от отца к сыну передавалась по наследству почетная профессия врача. И опекун внушал мальчику, что он обязан оправдать имя, данное ему отцом (Аристотель означает «Благородная Цель»), и тоже стать врачом, таким же знаменитым, каким был Никомаха. Аристотель изучал свойства целебных трав и много читал, — в его распоряжении была отцовская библиотека, довольно большая для того времени.

# Академия Платона

Когда Аристотелю исполнилось семнадцать лет, он поехал в Афины, чтобы поступить в государственную школу — гимнасий, который подготавливал общественных деятелей. Аристотель избрал гимнасий, называвшийся Академией[1], и стал учеником знаменитого философа Платона.

Академия помещалась в северо-восточной части Афин, в роще, посаженной в честь легендарного древнегреческого героя Академа, отсюда и название гимнасия — Академия.

В Академии Платона Аристотель пробыл двадцать лет, но изучал он не только медицину — его интересовали решительно все науки: философия, механика, зоология, ботаника, история. Аристотель хотел знать всё. И ему было мало уроков Платона. Аристотель подружился с другим наставником молодежи — Исократом, который также имел свою школу.

Исократ считался одним из самых сведущих людей в Афинах. Его частенько приглашали на заседания Афинского городского совета, чтобы посоветоваться с ним, и всегда с великим почтением выслушивали неторопливую и мудрую речь глубокого старика — Исократу тогда было более девяноста лет от роду. Аристотель любил слушать поучения Исократа и многому от него научился.

За двадцать лет пребывания в Академии Аристотель приобрел обстоятельные сведения по всем отраслям существовавшей тогда науки. Глубиной и обширностью своих познаний он превзошел не только своих сверстников — других учеников Академии, но и многих учителей. Великий теоретик современного научного социализма Фридрих Энгельс называл Аристотеля «самой всеобъемлющей головой» среди древнегреческих философов. Но, несмотря на высокую образованность, Аристотель оставался убежденным сторонником рабства и до конца своих дней считал его справедливым и естественным явлением в общественной жизни.

# Основание Ликея

В 347 году умер учитель Аристотеля — философ Платон. Аристотель покинул Академию: ему хотелось пополнить свое образование большим путешествием. На попутном корабле он отправился в Малую Азию и поселился в греческом городе Атарнее, на восточном берегу Средиземного моря.

К этому времени слава об учености Аристотеля Стагирита распространилась далеко за пределами Греции. Его еще с детства знал македонский царь Филипп II. Маленьким мальчиком Аристотель частенько приезжал вместе с отцом в столицу Македонии. Они с Филиппом вместе играли и были дружны.

Филипп II пригласил Аристотеля к себе, чтобы поручить ему воспитание своего сына Александра — будущего великого завоевателя. Служба Аристотеля у македонского царя длилась недолго — года три с небольшим. Вскоре Филипп привлек сына к управлению государством, и тому стало не до ученья. Аристотеля же влекло в Афины: там жили лучшие ученые того времени, и он мог бы целиком посвятить себя науке.

В 335 году до начала нашего летоисчисления Аристотель покинул двор македонского царя и основал в Афинах свою школу. Она помещалась в гимнасии и называлась Ликеем, потому что была расположена в загородной роще, посаженной в честь одного из древнегреческих богов — Аполлона Ликейского.

Сорокадевятилетний ученый с увлечением отдался делу, о котором мечтал много лет. Первое время он проводил занятия, прогуливаясь с учениками по роще, поэтому в Афинах их прозвали перипатетиками, это значит «прогуливающиеся». Это прозвище сохранилось за учениками и последователями Аристотеля на много веков.

Впоследствии Аристотель перешел к иному методу занятий и решил написать учебники по всем наукам, какие тогда существовали. Часть этих учебников он успел составить. Многие науки обязаны Аристотелю своим началом. Так, например, приведя в порядок разрозненные сведения о природе, имевшиеся у греков, он тем самым заложил основы науки о природе, названной физикой.

В сочинениях древнего мыслителя изложено много правильных мыслей о природе, некоторые явления он объяснял очень просто и удачно. Например, он говорил, что эхо — это отраженный звук, который «отскакивает от стены так же, как мячик». Аристотель высмеивал ученых, утверждавших, что люди видят потому, что из их глаз будто бы выходят особые

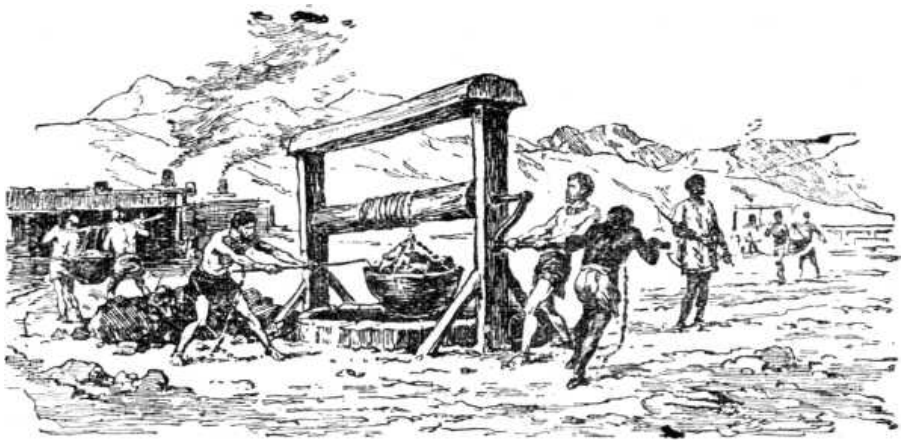
«зрительные лучи». На это Аристотель отвечал: если бы зрение зависело от света, якобы выходящего из глаза, как из фонаря, мы видели бы ночью не хуже, чем днем.

## «Механикэ» — хитрость

В своих сочинениях Аристотель большое внимание уделил механике, или науке о простейших движениях — таких, как падение, передвижение, действие рычагом или воротом.

*Рычаг.*

Название этой полезной науки произошло от греческого слова «механика», что значит «хитрость». Один ученик Аристотеля в своей книге о механике так поясняет ее задачу и значение: «Природа не всегда поступает так, как нам хочется, поэтому, чтобы действовать вопреки природе, нужно применять хитрость — механику — и с ее помощью побеждать природу». Этот ученик Аристотеля, имя которого осталось неизвестным, несомненно, был умным человеком; он понимал, что люди, зная законы природы и умело используя их, могут преодолевать препятствия, встречающиеся в работе. Если камень так тяжел, что его невозможно просто передвинуть человеческими руками, на помощь приходит механика. Она придумывает рычаг или ворот, и тяжелый камень, повинуясь малой силе, передвигается на то место, которое выбрано для него человеком.



*Ворот.*

Аристотель говорил: «Кто не знает движения — тот не знает природы». В основе механики лежат законы движения, и древний ученый попытался эти законы выразить.

Аристотель видел, как плавно движется по небу солнце, а ночью так же величественно поворачивается звездный купол небосвода, плывут среди звезд красавица луна и блуждающие светила — планеты. Каждый день ученому приходилось наблюдать, как вьется над очагами дым и пар, когда женщины приготовляют пищу. И дым и пар поднимаются вверх сами собой — без всякой видимой причины. Точно так же, потеряв опору, падают вниз тяжелые предметы. А брошенная в воду деревяшка всплывает.

Все это — движения небесных светил, падение тяжелых предметов на землю и всплывание легких тел — Аристотель назвал естественными, благородными движениями, потому что они совершаются, как он думал, без применения силы, свободно и непринужденно.

Остальное — корабли, повозки, всевозможные грузы и предметы — движутся только тогда, когда их заставляют двигаться. Триера — греческий корабль с тремя рядами весел — плывет лишь до тех пор, пока гребут рабы на веслах или пока ветер надувает паруса. Повозка едет, пока ее везут быки, а грузы перемещаются лишь тогда, когда их тянут, волокут, поднимают или тащат. Такие движения Аристотель называл насильственными, потому что они требуют применения силы.

Древний ученый принял кажущуюся разницу в характере движений за истинную, и в этом отчасти сказались рабовладельческие убеждения Аристотеля. Господа передвигаются и действуют по своей воле, их движения свободны и непринужденны, а рабы трудятся по принуждению. И

Аристотель, сам того не замечая, отобразил в науке порядки рабовладельческого общества: разделил движения на благородные — естественные, и рабские — вынужденные.

В действительности в природе все движения одинаково естественны, и деление, введенное Аристотелем, неправильно. Но пока люди в этом разобрались, прошло много столетий.

*Аристотель.*

# Движимое движется

Сопровождаемый учениками, Аристотель шел по роще, показывая примеры «насильственных» движений: вьется пыль, увлекаемая ветром; муравьи, облепив мертвую гусеницу, тащат ее куда-то, а унылые быки, еле передвигая ноги от жары, везут повозку в город. Но вот стих ветерок — улеглась пыль на дороге и замерли листья на деревьях; разбежались муравьи — и гусеница осталась лежать недвижимо; остановились быки — повозка перестала двигаться и скрипеть.

Аристотель учил, что предметы, совершающие «насильственные» движения, способны двигаться лишь до тех пор, пока их двигают, толкают или везут. А как только перестают толкать, тянуть или волочить, движение прекращается. Все это казалось Аристотелю совершенно очевидным, простым и ясным, он утверждал, что «движется только движимое», только то, к чему приложена какая-либо сила. Это Аристотель считал основным законом насильственных движений в природе.

В течение почти двадцати веков в справедливости аристотелевского закона движения никто не сомневался. «Аристотель мудр», — говорили ученики. И никому в голову не могло прийти, что великий ученый ошибается. А он все-таки ошибся.

Аристотель видел явления, которые противоречили его основному закону. Вон на лужайке малыши резвятся, бегают друг за другом и бросают камешки пращой, или стреляют из лука в цель.

*Стрелок из лука.*

Аристотель следил глазами за полетом стрелы, выпущенной из лука, или камня, брошенного пращой, и думал: почему же они летят?

Праща дала камню толчок и перестала действовать, а камень все-таки продолжает движение, хотя уже ничто не толкает его. Это был пример явного нарушения его основного закона.

Аристотель объяснил ученикам это странное явление тем, что природа якобы «не терпит пустот». Он говорил: смотрите— камень летит и рассекает воздух, позади у него остается пустое пространство, но природа не терпит пустоты, и воздух устремляется вдогонку камню, в пустоту его следа; камень летит, потому что его подталкивает догоняющий воздух. Так одна ошибка повлекла за собой другую.

Сейчас объяснение, придуманное Аристотелем, покажется курьезным, но ведь это происходило очень давно, когда наука делала свои первые шаги.

# Презренный опыт

Падающие тела в первые мгновения летят совсем медленно, но их движение постепенно ускоряется, и они падают всё быстрей и быстрей. Это было известно Аристотелю. Он знал, что падение не равномерное движение, а ускоренное, но насколько ускоряется движение падающего предмета — ученый не определял. Тогда еще не были изобретены точные часы, а без них измерить величину ускорения трудно. Впрочем, если бы Аристотель даже и имел хорошие часы, он все равно не стал бы делать опыты и измерять возрастание скорости падающих тел. Ведь ставить опыт — это значит трудиться, а труд — удел презренных рабов. Древнегреческий ученый не снисходил до простой физической работы: она считалась зазорной и даже унизительной.

Аристотель говорил своим ученикам, что человек обладает пятью чувствами и разумом, а потому — пользуйся своими чувствами и размышляй — природа откроет тебе свои тайны. Главное средство познания природы — размышление, его помощник — наблюдение, но отнюдь не опыты, — так думали древнегреческие ученые.

Однако без опытов они не могли убедиться в правильности своих рассуждений, ведь опыт и практика — главные способы проверки. А без проверки возможны и даже неизбежны ошибки. Например, Аристотель видел, что кусок свинца всегда падает быстрее, чем комок шерсти, и сделал вывод, что тяжелые предметы падают быстрее легких. Аристотель считал бесспорным и доказанным, что камень весом в два фунта упадет на землю вдвое быстрее, чем камень весом в один фунт. «Скорость падения соответственна весу падающего тела», — учил Аристотель.

Конечно, ученый мог бы подняться на крышу какого-либо высокого здания и бросить оттуда два камня разного веса. Он сразу увидел бы, с какой скоростью они достигают земли и какой камень падает раньше, но это был бы опыт, труд…

Разумеется, Аристотель, чтобы не работать самому, мог приказать рабу взобраться на крышу и бросить оттуда камень, но тогда все равно презренный физический труд стал бы судьей благородного труда мыслителя. Опыт сделан не был — ошибка вошла в науку.

Итак, Аристотель считал, что он установил следующие законы движения: «Движения бывают естественные и насильственные»; «Движется только движимое какой-либо силой»; «Природа боится пустоты»; «Скорость падения пропорциональна весу падающих тел».

И вот с этих законов, иногда далеких от истины, началась наука о движении, получившая название механики. Аристотель был первый, кто попытался привести в порядок мысли, приходившие в голову человеку, который наблюдал окружающие его явления природы.

## Судьба ученого

Воспитанник Аристотеля Александр Македонский разгромил и уничтожил многосоттысячную армию персидского царя Дария III и захватил его огромную империю. За двенадцать лет почти непрерывных сражений Александр Македонский со своей армией прошел свыше двадцати тысяч километров и завоевал территорию, простиравшуюся от Ливийской пустыни и берегов Адриатического моря до Инда и Сыр-Дарьи. Он вторгся в пределы современных Таджикистана и Узбекистана, предпринял поход в Индию.

В 323 году до начала нашего летоисчисления Александр Македонский заболел малярией и умер. После его смерти империя, созданная силой оружия и скрепленная исключительно страхом перед грозным завоевателем, стала быстро распадаться. Греки тоже воспользовались случаем и попытались свергнуть власть Македонии. В Афинах начались преследования сторонников Александра.

Многие афинские граждане считали Аристотеля приверженцем Александра: они знали, что ученый получал от царя-завоевателя деньги на содержание своей школы. Началась травля великого мыслителя. Уличные крикуны обвиняли Аристотеля в безбожии. Ученому пришлось покинуть Афины. Он уехал в город Халкида на острове Эвбея, но научных занятий не прекратил. Там он наблюдал морские приливы и отливы, тщетно стараясь понять причины этого явления.

Умер Аристотель в 322 году до новой эры.

Ликей, основанный Аристотелем, просуществовал несколько столетий. Им руководили ученики философа. Они же дописали почти все книги, начатые их учителем, и распространили эти книги во всем мире.

Учение Аристотеля и, в частности, его законы движения пользовались всеобщим признанием почти два тысячелетия.

# ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ
## Глава вторая
## о том, как началась борьба против устарелых и ошибочных утверждений Аристотеля и как возникла новая наука, опирающаяся на опыт и старающаяся изображать явления природы такими, какие они есть на самом деле

# Детство Галилея

15 февраля 1564 года в семье обедневшего флорентийского дворянина Винченцо Галилея родился сын, которому дали имя Галилео.

Семья жила небогато. Винченцо Галилей был очень образованным человеком: он увлекался естественными науками и особенно математикой, но своей основной профессией считал музыку. Однако уроки музыки далеко не всегда обеспечивали ему достаточный заработок. И люди говорили, что Винченцо Галилей богат не деньгами, а детьми. Чтобы прокормить семью, он пробовал торговать сукном, но способностей к торговле не имел и потому терпел убытки и частенько нуждался.

Маленький Галилео рано научился читать. И отец отдал его в школу, которую мальчик посещал до одиннадцати лет. В 1575 году семья Галилея переехала из города Пизы, где они раньше жили, во Флоренцию. Там Винченцо Галилей поместил сына в монастырское училище.

В монастыре имелась хорошая библиотека, и Галилео целые дни проводил за чтением, потому что шуметь и шалить в монастыре было запрещено, а читать он очень любил. Смышленый мальчик привлек к себе внимание своих наставников-монахов. Они говорили, что Галилео очень прилежен и внимателен, со временем он, конечно, станет прекрасным священником и, может быть, даже наденет кардинальскую мантию.

Такая будущность показалась мальчику заманчивой. Он согласился стать послушником и начал готовиться к посвящению в монашество. Винченцо Галилей был огорчен поспешным и необдуманным решением сына — он мечтал о совсем ином жизненном пути для своего мальчика. Мысль о том, что Галилео на всю жизнь облачится в черную рясу монаха, показалась ему ужасной. Винченцо поспешил в монастырь. Он уверил монахов, что у мальчика от непрерывного чтения серьезно заболели глаза, что ему надо лечиться, а читать ни в коем случае нельзя, иначе он обязательно ослепнет. Хитрость удалась — монахи поверили и отпустили своего послушника.

В доме отца было гораздо интереснее, чем в монастыре. Правда, тут не было книг: отец запер их в шкаф и ключ носил с собой. Но зато можно было пользоваться полной свободой. Никто не запрещал Галилео бегать с ребятами, запускать воздушных змеев, лазить на крышу и пристраивать там всевозможные вертушки или же копаться в овраге, где бежал веселый ручеек,

впадавший в реку Арно, и строить водяные мельницы и модели кораблей. А вечером, забившись в уголок, можно было слушать жаркие споры отца и его друзей о музыке, искусстве и литературе.

Взрослые толковали о прекрасных картинах Рафаэля и Микеланджело, которыми восхищалась вся Италия; о машинах, придуманных великим Леонардо да Винчи; о замечательных изделиях и похождениях знаменитого ювелира Бенвенуто Челлини. Иногда какой-нибудь приезжий рассказывал о морских путешествиях в неведомые страны.

Это было то замечательное время, когда географические открытия словно раздвинули границы мира. По путям, проложенным Христофором Колумбом, Васко де Гама и Фердинандом Магелланом, устремились сотни кораблей. Они бороздили океаны земного шара по всем направлениям. Люди словно проснулись от тысячелетнего сна и почувствовали себя не слабенькими созданиями, а сильными и смелыми борцами, способными бороться с опасностями, строить различные машины и пересекать безбрежные пространства морей.

Особенное внимание мальчика привлекли речи отца об искусстве. Винченцо Галилей отстаивал самостоятельность суждений и доказывал, что человек не смеет бездумно повторять чужие слова и слепо верить чужим мыслям. Старый музыкант восставал против рабского преклонения перед обветшалыми авторитетами.

В эти годы Галилео научился у отца играть на различных музыкальных инструментах и даже пробовал сочинять песенки. Многочисленные друзья отца — художники показали ему приемы рисования, а домашний учитель Яков Боргини, которого отец пригласил, чтобы мальчик не очень избаловался от безделья, познакомил Галилео с историей Италии.

Только о математике в доме почти не говорили. Отец старался скрыть от сына свое любимое занятие и никогда не упоминал, что, погрузившись в вычисления или решая замысловатую задачу, он способен забыть сон, пищу и все дела. Винченцо Галилей опасался, как бы его увлечение не передалось юному Галилео. Это было бы очень печально — ведь отец мечтал дать сыну такую специальность, которая приносила бы ему приличный заработок и защищала от гнетущей бедности. Такой профессией в то время считалась медицина. Профессор медицины в итальянских университетах получал тогда четыреста — пятьсот флоринов в год, а профессор математики — только шестьдесят. Прожить на такое жалованье было очень трудно, и Винченцо говорил: все, что угодно, только не математика.

# Знакомство с Аристотелем

В 1581 году, когда Галилео исполнилось семнадцать лет, он поступил в Пизанский университет изучать медицину.

Согласно порядкам того времени, каждый студент до начала занятий по выбранной специальности был обязан прослушать курс лекций ученых, излагающих знаменитое учение Аристотеля. Эти лекции показались Галилео мертвенно-скучными, а некоторые суждения древнего философа попросту ошибочными. Юношу удивляло, почему университетские учителя не замечают, что в сочинениях Аристотеля наряду с мудрыми и верными мыслями так много явных нелепиц, противоречащих здравому смыслу. А учителя пересказывают все эти нелепицы с самым глубокомысленным видом.

Галилео порой хотелось крикнуть: «Постойте! Да ведь это неправда!»

Но, оглядевшись вокруг, он видел сосредоточенные, серьезные лица студентов; они внимали всему, что вещал с кафедры какой-нибудь известный ученый. Никто не улыбался, никто ничего не замечал. А профессор скрипучим, равнодушным голосом поучал, что Аристотель достиг вершины человеческой премудрости, и никто никогда не сможет сделать большего.

Все преподавание в университете основывалось на слепом преклонении перед авторитетом Аристотеля. Как это не вязалось с тем, что слышал Галилео в доме своего отца!

Галилео пробовал заговаривать об ошибках Аристотеля со своими товарищами-студентами, но они отмахивались от него, как от смешного чудака, который сам не знает, о чем толкует. А некоторые предупреждали его:

— Не задавайся! Поумнее тебя есть люди, и они чтут Аристотеля. Чти и ты!

У Галилея просыпалась глухая ненависть к Аристотелю, к университету.

На каникулы студенты разъехались по домам. Галилей вернулся во Флоренцию и рассказал отцу о своих сомнениях и о желании бросить университет, чтобы стать художником. Галилей научился хорошо рисовать. Видевшие его рисунки утверждали, что из него со временем получится превосходный художник.

Отец и сын долго беседовали. Забыв о своем намерении никогда не говорить Галилео о математике, Винченцо приложил все усилия, чтобы побороть у юноши возникающее отвращение к естественным наукам. Галилео с удивлением слушал речь отца. Он видел перед собой нового, словно незнакомого человека.

Оказывается, отец не только музыкант, но и ученый — он прекрасно знает Аристотеля и других философов, о которых Галилео даже понятия не имел. Винченцо Галилей говорил о науке, как знаток, с такой страстью и увлечением, что скучное становилось живым и интересным.

— Скажи мне, отец, — спрашивал Галилео, — почему люди так безраздельно верят каждому слову Аристотеля, не замечая скрытых у него противоречий?

— А ты думаешь, никто не замечает этих противоречий? — спрашивал в ответ Винченцо Галилей. — Несомненно, есть люди, которые тоже их заметили, да не решаются об этом сказать.

— Они боятся! — воскликнул Галилео.

— Конечно, боятся. Ведь попасть в лапы палачей инквизиции очень легко… Да и не только в этом дело, — продолжал отец. — Разругать учение Аристотеля нетрудно, но ведь надо доказать, что он неправ. А вот доказать — это не так просто!

Винченцо Галилей посоветовал сыну, прежде чем оспаривать Аристотеля, прочитать сочинения двух древнегреческих ученых: Евклида, заложившего основы современной геометрии, и Архимеда, замечательного математика, механика и изобретателя. Он даже сам подарил ему эти книги. Так все старания старого музыканта и ученого уберечь сына от физических наук и математики пошли прахом.

Галилео углубился в чтение. Подарок отца решил его судьбу. Он увлекся естественными науками: механикой, астрономией, математикой, оптикой. Но одно оставалось ему непонятным: почему же все-таки в течение двух тысячелетий люди так слепо, так беспрекословно верили Аристотелю? Винченцо Галилей на этот вопрос ответить не мог, да и никто другой в то время, вероятно, не сумел бы объяснить истинной причины непререкаемого авторитета Аристотеля. Это стало ясно только теперь благодаря марксистскому учению о развитии общества.

## Ответ на вопрос

Общественный строй, который установился в Европе после распада рабовладельческого общества, называется феодальным. Вся земля — пашни, луга и леса — была поделена между феодалами. В России они назывались князьями, боярами, а в более позднее время — дворянами-помещиками.

Крестьяне, жившие на земле, присвоенной феодалом, считались его подданными-крепостными и были обязаны работать на своего господина или служить в его дружине. От рабов крепостные отличались только тем, что имели небольшое собственное хозяйство, которое создавало у них некоторую видимость свободы, но по существу они тоже были рабами. Когда умирал феодал, его владения переходили к сыну или родственнику, а крепостные крестьяне передавались по наследству так же, как всякое имущество, как скот.

Такой общественный строй просуществовал много сотен лет. В эту эпоху в Западной Европе большой властью обладала католическая церковь. Священники, монахи и прочие священнослужители непрестанно внушали народу, что существующий порядок установлен самим богом на веки вечные и изменить его нельзя. Как феодалы поработили людей, так и религия и ее служители поработили человеческую мысль. Это удалось церковникам потому, что они сумели подчинить себе науку.

Владыки церкви понимали, что древнегреческий врач Гиппократ был прав, когда говорил: «знание рождает науку, а незнание — веру». И они ненавидели знание, рождающее науку, и с удовольствием уничтожали бы всех ученых, но это было свыше их сил. Без науки о природе, без ученых невозможно было бы строить корабли и здания, прокладывать дороги, вести счет годам и следить за календарем. Кто-то должен был учить людей отыскивать в горах ценные руды и выплавлять из них металлы. Кто-то должен был помогать ориентироваться морякам в открытом море, вдали от родных берегов. Наука стала необходима людям, и церковь постаралась превратить ее в свою служанку, постаралась придумать свою собственную науку— послушную и покорную.

Церковники утверждали, что «священная книга» — библия — содержит все, что должен знать человек. Библия заменяла людям учебники истории, философии, морали, и все написанное в этой книге считалось нерушимо верным, мудрым, неизменным и непоколебимым. Однако церковники понимали, что и без науки о

природе нельзя обойтись. Они хотели найти такую книгу, которая бы стала библией науки, чтобы все написанное в ней тоже считалось верным, мудрым, неизменным и незыблемым.

Среди сочинений древних ученых самыми подходящими оказались труды Аристотеля. Из его учения выбросили то, что было в нем живого, и, дав трудам Аристотеля свое толкование, сделали их основой мертвой, застойной науки феодализма.

На протяжении многих сотен лет безраздельное владычество церкви создало Аристотелю непререкаемый авторитет. Было запрещено даже сомневаться в непогрешимости греческого философа. Его объявили «предшественником Христа на земле по делам природы», а книги Аристотеля стали считаться второй библией.

Однако религия и церковные учреждения не были всесильны. Они сумели затормозить развитие науки, но не смогли остановить рост и развитие техники, промышленности, мореплавания. Среди феодальных поместий выросли города с многочисленным и свободным населением: ремесленниками, мастеровыми и подмастерьями, корабельщиками-моряками и купцами, людьми предприимчивыми и смелыми.

Поперек речек и ручьев легли плотины, возле которых зашумели лесопилки и мельницы. В кузницах раздавались удары тяжелых молотов. Быстро развивалась металлургия. В портовых городах строили сложные землечерпательные машины, углубляющие дно природных гаваней. Корабли, управляясь по компасу и движению звезд, уже не жались к берегам, а смело выходили в открытое море. Изобретатели подумывали об устройстве летательных машин. Промышленность и мореплавание не могли больше мириться со старой, обветшалой и застойной наукой, она стала тесна, как курточка на быстро растущем мальчугане.

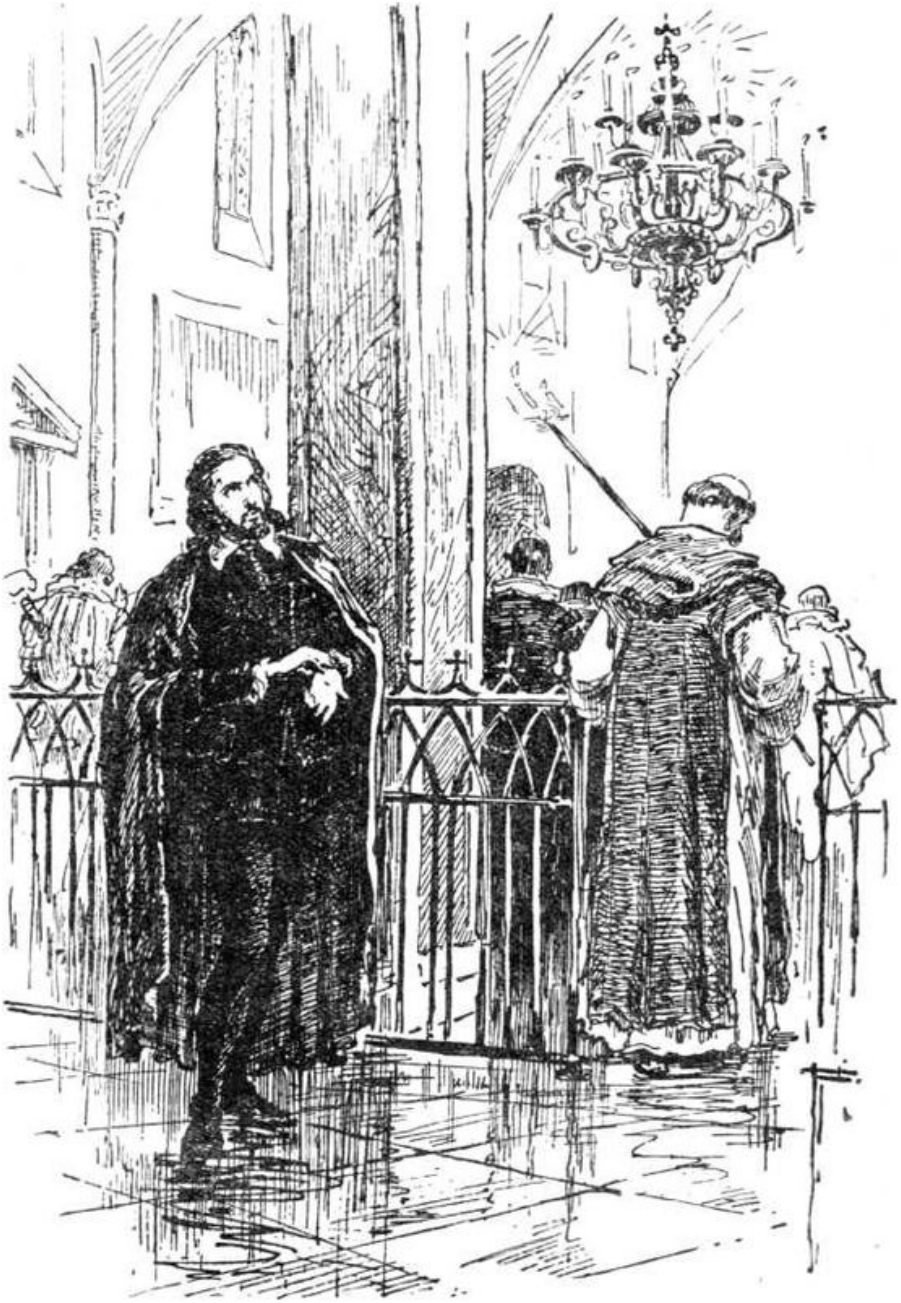
Галилео Галилей родился как раз в ту эпоху, когда против тяжелого гнета церкви, против канонизированного ею учения Аристотеля восставала сама жизнь.

# Первое открытие

Галилей вернулся в университет, но уже не на медицинский факультет, а на философский, где преподавали математику и физику. В те времена эти науки еще не отделялись от философии. На философском факультете Галилей решил терпеливо изучить Аристотеля.

Всем студентам, по университетским правилам, полагалось посещать церковь. Галилео, будучи верующим человеком, унаследовал от отца равнодушие к церковным обрядам, и ревностным молельщиком назвать его было нельзя. Как сообщает его ученик Вивиани, в 1583 году Галилей, находясь во время богослужения в Пизанском соборе, обратил внимание на люстру, подвешенную к потолку на тонких цепочках. Служители, зажигавшие свечи в люстрах, видимо, толкнули ее, и тяжелая люстра медленно раскачивалась.

Галилей стал наблюдать за ней: размахи люстры постепенно укорачивались, ослабевали, но Галилею показалось, что, хотя размахи люстры уменьшаются и затихают, время одного качания остается неизменным.



*Галилей наблюдает качание люстры.*

Чтобы проверить эту догадку, нужны были точные часы, а часов Галилей не имел — их тогда еще не изобрели. Юноша догадался использовать вместо секундомера биение своего сердца. Нащупав на руке пульсирующую жилку, Галилей считал удары пульса и одновременно качание люстры. Догадка как будто

подтверждалась, но люстра, к сожалению, перестала качаться, а подтолкнуть ее во время богослужения Галилей не решился.

Вернувшись домой, Галилей привязал на нитки и стал раскачивать разные предметы, попавшиеся ему под руку: ключ от двери, камешки, пустую чернильницу и другие грузики. Эти самодельные маятники он подвесил к потолку и смотрел, как они качаются. Отсчет времени он по-прежнему вел по ударам пульса.

Прежде всего Галилей убедился, что легкие предметы качаются так же часто, как и тяжелые, если они висят на нитках одинаковой длины. А зависят качания только от длины нити: чем нитка длиннее, тем реже качается маятник, а чем короче, тем качания чаще. Частота качаний зависит только от длины маятника, но отнюдь не от его веса.

Галилей укоротил нитку, на которой висела пустая чернильница; сделал так, чтобы она качалась в такт биению пульса и на каждый удар сердца приходилось одно качание маятника. Затем он подтолкнул чернильницу, а сам уселся в кресло и стал считать пульс, наблюдая за маятником.

Сначала чернильница, раскачиваясь, делала довольно широкие размахи и быстро летала из стороны в сторону, а потом ее размахи становились все меньше, а движение медленнее; таким образом время одного качания заметным образом не изменялось. И большие и малые размахи маятника все равно совпадали с ударами пульса. Но тут Галилей заметил, что от волнения его «секундомер» — сердце — начал биться быстрее и мешать опыту. Тогда он стал повторять свой опыт много раз подряд, чтобы успокоить сердце.

В результате этих опытов Галилей убедился, что время одного качания заметным образом не меняется — оно остается одинаковым (если бы у Галилея имелись современные точные часы, он мог бы заметить, что небольшая разница между большими и маленькими качаниями все же есть, но она очень мала и почти неуловима).

Размышляя о своем открытии, Галилей подумал, что оно может пригодиться врачам, для того чтобы считать пульс у больных людей. Молодой ученый придумал небольшой приборчик, названный пульсологием. Пульсологий быстро вошел во врачебную практику. Врач приходил к больному, одной рукой щупал пульс, а другой подтягивал или удлинял маятник своего прибора так, чтобы качания маятника совпадали с ударами пульса. Потом по длине маятника врач определял частоту биения сердца больного.

Эта история первого научного открытия Галилея показывает, что Галилей обладал всеми качествами настоящего ученого. Он

отличался незаурядной наблюдательностью; тысячи, миллионы людей видели, как раскачиваются люстры, качели, плотницкие отвесы и другие предметы, подвешенные на шнурках, нитках или цепочках, и только Галилей сумел увидеть то, что ускользало от внимания многих.

Он проверил свой вывод опытами и тотчас же нашел практическое применение этому открытию. К концу своей жизни ученый доказал, что маятник может стать прекрасным регулятором для часов. С тех пор маятник служит в стенных часах. Галилей сделал часы одним из точнейших механизмов.

# Спор с перипатетиками

В 1585 году Винченцо Галилей обеднел настолько, что не смог уже помогать сыну, и Галилео был вынужден покинуть университет, хотя до окончания курса ему оставался только один год.

Дома Галилей не прекращал научных занятий, стараясь чтением восполнить пробел в знаниях, на который его обрекла нужда. В эти годы он издал небольшое сочинение о законах плавания тел и способе определения их плотности с помощью весов особого устройства. Это сочинение Галилея, написанное на живом итальянском языке, а не на мертвом латинском, на котором обычно писали свои книги ученые того времени, привлекло всеобщее внимание. Люди, читавшие его сочинение, поняли, что недоучившийся студент стоит наравне с крупнейшими учеными.

По протекции одного знатного господина Гвидо Убельди маркиза дель Монто, молодого Галилея пригласили в Пизанский университет — тот самый, в котором он некогда учился, — на должность профессора математики сроком на три года и с окладом шестьдесят флоринов в год.

Галилей сделался профессором и стал пересказывать Аристотеля, как это требовалось по программе. Молодой ученый не выступал против древнегреческого философа; он только иногда делал небольшие поправки и дополнения к его рассуждениям. Галилей готовился к длительным сражениям со сторонниками, последователями Аристотеля, которых и тогда называли перипатетиками.

Первой атаке Галилея подверглось утверждение Аристотеля о том, что тяжелые предметы будто бы падают быстрее легких. Его студенческие опыты с маятниками разного веса показали, что тяжелые предметы, подвешенные на нитках, раскачиваются точно так же, как легкие. Длительность одного качания зависела только от длины нитки, но не от веса маятника. Уже это одно наводило на мысль, что скорость падения не зависит от веса падающего предмета. Однако привести этот пример Галилей не решился — сторонники Аристотеля могли сказать, что одно дело качание, а другое— падение. Галилей решил бороться с аристотелевдами их же оружием — рассуждением. Перипатетики больше всего любили рассуждать.

Галилей говорил им так:

— Аристотель утверждает, что камень весом в десять фунтов падает в десять раз быстрее, чем камень весом в один фунт.

Хорошо, согласимся с ним. Но скажите, что произойдет, если мы свяжем оба эти камня вместе. С какой скоростью они будут падать?.. Допустим, — продолжал Галилей, — мы запряжем в одну повозку рысака и старую клячу, еле передвигающую ноги. С какой скоростью поедет эта повозка? Безусловно, вы скажете, что старая кляча лишь помешает рысаку. Так и маленький камень, способный падать в десять раз медленнее большого, будет тормозить его падение, мешать ему, и потому два таких камня, связанных вместе, будут падать медленнее, чем один большой камень. Не так ли, господа?

— Да, конечно! — отвечали перипатетики, не замечая подвоха.

— Вы согласны со мной? Но, посудите сами, ведь мы связали оба камня вместе так, что из них получился один предмет весом в одиннадцать фунтов. И этот одиннадцатифунтовый предмет тяжелее десятифунтового, и поэтому, согласно Аристотелю, он должен падать не медленнее, а быстрее десятифунтового камня! Не так ли, господа?

Перипатетики молчали, не зная, что возразить Галилею. Ведь, если поверить Аристотелю, действительно получается, что два камня, связанных вместе, должны падать с какой-то неопределенной скоростью — с одной стороны, быстрее, а с другой — как будто медленнее…

Галилей тут же пояснял: дело в том, что Аристотель ошибся. Скорость падения не зависит от веса падающих предметов. Все предметы независимо от их веса падают одинаково быстро.

Галилей смеялся над смущением и растерянностью своих противников и говорил:

— Свяжите два камня одинакового веса и уроните их с одной и той же высоты. Если верить вам, то в связанном виде они будут падать вдвое быстрее, чем поодиночке.

Словом, если одна лошадь пробегает расстояние между двумя городами за два часа, то вы, наверно, скажете, что две такие лошади, запряженные в повозку, пробегут это же расстояние за один час. Сеньоры, где вы видели таких удивительных лошадей?

Перипатетики расходились, рассерженные насмешками Галилея, а он на них не скупился. Они говорили между собой:

— Он осмеливается критиковать Аристотеля. Невежда! Мальчишка! Вот уже два тысячелетия все величайшие умы человечества почитают Аристотеля как мудрейшего из людей. Все сказанное Аристотелем — великая истина! И только безнадежный глупец осмелится это оспаривать!

Галилей пытался приводить новые доводы и примеры, но где уж там — его и слушать не хотели.

# Маленькая неудача

Двадцатипятилетний ученый понял, что рассуждениями и доводами перипатетиков не проймешь. Нужен был смелый и решительный опыт, чтобы они воочию убедились в своем заблуждении.

На городской площади в Пизе и поныне стоит знаменитая наклонная башня-колокольня, построенная еще в 1174 году. Ученик Галилея и его биограф — Вивиани рассказывает, что для своих опытов Галилей воспользовался этой башней. Она и в самом деле очень удобна — достаточно высока (пятьдесят семь с половиной метров, или, на флорентинские меры, сто локтей) и наклонна. Как сообщает Вивиани, Галилей взбирался на площадку седьмого этажа колокольни, ронял оттуда предметы различного веса: камни, куски железа и дерева — и смотрел, как они падают.

Однажды на площадку Пизанской башни втащили два железных ядра: одно весом в сто фунтов, а другое, маленькое, в один фунт. Эти ядра были выбраны не случайно: Аристотель в своих сочинениях упоминал о предметах как раз такого веса.

У башни столпился народ, пришли профессора-перипатетики, стремившиеся поймать Галилея на какой-нибудь оплошности, собрались студенты, заинтересованные спором, и просто любопытные. Один старый профессор, в темной профессорской шапочке, ревностный сторонник Аристотеля, подошел почти вплотную к тому месту, куда должны были упасть ядра, и, задрав бороду, смотрел наверх, ожидая начала опыта.

Галилей одним толчком сбросил ядра. И все видели, как они одновременно скатились с площадки и полетели оба — и тяжелое и легкое — вместе, рядышком, словно связанные веревочкой.

Профессор-перипатетик, злейший враг Галилея, придерживая седую бороду рукой, напряженно следил за полетом ядер. В момент падения он присел на корточки, чуть не распластался по земле, — так ему хотелось не пропустить мгновения, когда ядра коснутся земли.

Раздался глухой удар. Перипатетик вскочил и, забывая почтенный свой возраст и профессорское звание, закричал, как мальчишка:

— Отстало! Отстало! — и показал два пальца.

Действительно, фунтовое ядро отстало от своего более тяжелого спутника примерно на расстояние, равное толщине двух пальцев. Оно ударилось о землю не одновременно с большим ядром, а чуть позже его. Это видели многие!

Сторонники Аристотеля свистели и улюлюкали. Зеваки, которые ровно ничего не поняли во всей этой истории, орали, радуясь случаю пошуметь. Зато студенты, любившие смелые речи Галилея, кидали вверх свои шапочки и кричали «ура» — отставание фунтового ядра на каких-то два пальца показалось им сущим пустяком.

Рассерженный Галилей вернулся домой. Проклятое маленькое ядро! Почему оно отстало?

В стенах университета спор разгорелся с новой силой. Перипатетики перешли в наступление и с озлобленным упрямством твердили:

— А все-таки маленькое ядро отстало! — и, встречаясь с Галилеем, вежливо приподнимали шляпы и показывали ему два пальца.

Возмущенный насмешками, Галилей говорил своим противникам:

— Чему вы радуетесь! Ведь Аристотель утверждал, что стофунтовый предмет, падая с высоты в сто локтей, достигает земли в такое время, за которое маленькое ядро успеет пролететь только один локоть! Значит, расстояние между ними в этот момент должно было бы равняться девяноста девяти локтям. Вы же заметили, что большое ядро опередило маленькое не на девяносто девять локтей, а всего лишь на два пальца. И придираетесь к этому ничтожному расхождению, желая скрыть ошибку Аристотеля на девяносто девять локтей. Толкуя о моей ничтожнейшей ошибке, вы обходите молчанием величайшую ошибку Аристотеля!

Словесные стычки ни к чему не привели. За Галилеем укрепилась кличка «спорщик», и он на каждом шагу чувствовал скрытую враждебность всех университетских профессоров.

# Друзья Галилея

В 1591 году умер Винченцо Галилей, и семья старого музыканта осталась без средств. Если один Галилео еще мог существовать на жалкие шестьдесят флоринов профессорского жалованья, то прокормить большую семью на эти деньги не было никакой возможности. Пришлось искать работу. Галилей заявил о своем желании уйти из университета. Его удерживать не стали. Трехгодичный срок подходил к концу, и в университете были рады избавиться от дерзкого «спорщика». Галилей вернулся в дом своей матери во Флоренции.

Тут Галилей с удивлением убедился, что многие знают о нем; оказалось, что глухой удар ядер, сброшенных им с башни в Пизе, раскатился по всей Италии. На его маленькую неудачу никто не обратил внимания. Люди хвалили его и подтрунивали над пизанскими профессорами, преклонявшимися перед авторитетом Аристотеля. В шумливой Флоренции на базарной площади слово «перипатетик» стало бранным. Когда кто-нибудь говорил глупости, ему кричали:

— Эх ты, перипатетик!

Флоренция, населенная преимущественно ремесленниками, купцами и мелкими промышленниками, была в те годы одним из передовых городов Италии. И она встретила Галилея очень дружелюбно.

Каждый ремесленник прекрасно понимал, что его мастерство обусловлено только его собственным трудом и опытом многих поколений таких же ремесленников, как и он сам. Венецианские стекольщики веками сохраняли и совершенствовали тайные рецепты приготовления стекла и наконец достигли такого совершенства, что равных им стекольщиков не было во всем мире. И достигли они этого не путем рассуждений, а тяжелым трудом, бесчисленными опытами их отцов, дедов и прадедов. Их искусство создавалось трудом и опытом.

Купцы того времени сами командовали своими кораблями, терпели бури, преодолевали опасности, рисковали, боролись со стихией и с гордостью говорили о своем благосостоянии, что оно создано их трудом и опытом.

Оружейники, красильщики, кожевники, ювелиры, строители знали, что путь к мастерству открывают только труд и опыт. И вот, когда появился ученый, который так же, как и они, говорил на простом и понятном для них языке, так же, как они, в споре не лез в карман за словом, сам умел работать, знал ремесла и верил только опыту, — они признали его своим ученым.

В недрах феодального строя рос и развивался новый общественный класс — буржуазия. (Слово «буржуазия» в его первоначальном смысле означало «жители городов, горожане».) Буржуазия тогда была революционная и начинала беспощадную борьбу с феодализмом. Галилей не стал слугой чванливых феодальных владык. Он отрицал замшелую науку феодального строя, которая, кроме Аристотеля, ничего знать не хотела. Галилей выступил как создатель и защитник новой, смелой науки о природе — науки горожан, буржуазии — и считал основным способом познания природы опыт.

Галилей быстро нашел себе друзей среди передовых людей того времени. Флорентинец Филипп Сальвиати и венецианец Франциск Сагредо помогли ему найти работу. По их ходатайству Совет Венецианской республики большинством в сто двадцать девять голосов против трех и при девятнадцати воздержавшихся (такую популярность успел приобрести молодой ученый) постановил пригласить Галилео Галилея в Падуанский университет профессором математики и астрономии и назначил ему оклад втрое больший, чем он получал в Пизанском университете. Несколько лет спустя жалованье Галилею удвоили, потом ему назначили пятьсот флоринов в год и наконец повысили жалованье до тысячи флоринов — так много денег никогда еще не платили в Италии ни одному математику.

В Падуанский университет Галилей переехал осенью 1592 года и пробыл в нем восемнадцать лет. За эти годы Галилей сделал свои наиболее важные открытия. Прежде всего он повторил студенческие опыты с маятниками и продолжил исследование падения тел на землю.

# Потеря веса

Галилей изготовил два шара: один из свинца, а другой из дерева — и сделал их с таким расчетом, чтобы свинцовый шар оказался ровно в сто раз тяжелее деревянного. Эти шары Галилей привязал к ниткам одинаковой длины, а длину нитей подобрал такую, чтобы на каждые два удара его пульса приходилось бы одно качание маятника — так удобнее подсчитать размахи качающихся шаров.

Свои маятники Галилей оттянул в сторону на одинаковое расстояние и одновременно отпустил их. Маятники стали раскачиваться мерно и дружно, как два солдата, шагающих в ногу. И свинцовый тяжелый шар и легкий деревянный делали по пятьдесят качаний на каждые сто ударов пульса. Галилей наблюдал сотни и тысячи качаний, и никогда не видел, чтобы один маятник хотя бы на йоту опередил другой: деревянный по числу колебаний не отставал от свинцового, хотя он был в сто раз легче его. Вес шаров в данном случае не играет роли. И это понятно — ведь маятник качается под действием силы тяжести. Его колебания — это только видоизмененное падение.

Галилей рассуждал так:

— Оттягивая шар маятника в сторону, я тем самым поднимаю его, то есть удаляю от земли, а когда отпускаю шар — даю ему свободу, он получает возможность упасть, но упасть прямо вниз не может, его держит нить. Шар маятника волей-неволей вынужден опускаться по кривой линии — по дуге окружности. Это движение шара — то же падение, и поэтому вес шаров не сказывается на частоте качаний маятников.

Исследования Галилея на этом не прекратились. Остроумным рассуждением он пришел к выводу, что падающий предмет во время своего падения вообще не имеет веса. Доказать это во времена Галилея было не так-то просто: даже в наши дни не всякий поверит, что падающие вещи ничего не весят. И в самом деле, кажется странным, как это так: яблоко, лежащее на столе, имеет вес, а стоит его столкнуть со стола — и на время падения оно вес теряет. Однако это верно!

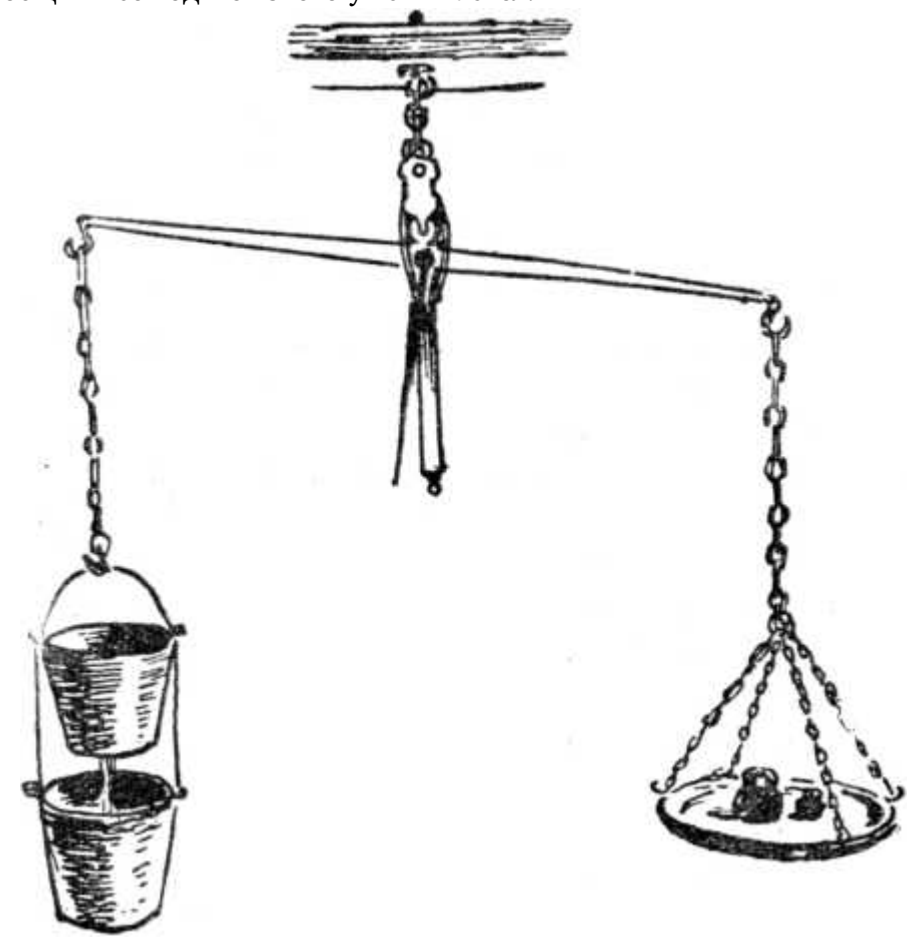
Падающие предметы действительно ничего не весят.

Галилей долго не мог придумать опыт, который позволил бы ему взвесить падающий предмет и убедиться, что он ничего не весит. Много лет спустя такой опыт он сделал.

С одного коромысла больших торговых весов ученый снял чашку и вместо нее подвесил два ведерка — одно под другим. В донышке верхнего ведра имелось небольшое отверстие, которое

Галилей заткнул пробкой. В верхнее ведро он налил воды, а на чашку весов, свисавшую с другого конца коромысла, наложил гирь, чтобы уравновесить вес ведер. Затем осторожно извлек пробку из отверстия, и вода струйкой потекла из верхнего ведра в нижнее.

В этот момент весы вышли из равновесия, чашка с гирями перетянула и опустилась, а ведра стали легче и поднялись. В таком положении весы находились все время, пока текла вода. Но как только она вся собралась в нижнем ведерке, весы снова пришли в равновесие. Этот поучительный опыт показывает, что та часть воды, которая находится в струе и падает из верхнего ведра в нижнее, во время падения ничего не весит, и, естественно, общий вес воды от этого уменьшается.



*Вода, падающая из верхнего ведра в нижнее, теряет вес.*

Теперь этот вывод Галилея доказывают совсем просто: на крючок пружинных весов вешают гирьку, а потом выпускают весы из рук. В первые моменты падения весов вместе с гирькой можно

увидеть, что указатель весов мгновенно прыгает на нуль: гиря перестает растягивать пружину — падающее тело теряет свой вес.

Значит, вес — это не есть что-то присущее всем предметам, как утверждал Аристотель и другие древнегреческие ученые. Предметы могут утрачивать свой вес и прекрасно существуют без него.

При всяком ускоренном движении вниз человек тоже теряет полностью или частично свой вес. Частичная потеря веса приятна и может даже доставить удовольствие. Поэтому-то и взрослые и дети любят старинную русскую забаву — качание на качелях. Когда качели идут вниз, качающиеся частично теряют свой вес и говорят: «сердце замирает» или «дух захватывает».

То же самое испытывает человек, когда скатывается на санках или на лыжах с крутой горки. В некоторых парках культуры и отдыха есть забавный аттракцион — катание с гор. На таких горах маленький поезд из вагонеток с сиденьями для пассажиров стремительно скатывается по крутым спускам и снова взлетает на подъем, чтобы ринуться вниз на следующем спуске. И каждый раз у пассажиров «замирает сердце».

Ощущение частичной потери веса хорошо знакомо жителям московских высотных зданий. Всякий раз, когда приходится спускаться в скоростном лифте, пассажиры чувствуют, что кабинка лифта словно уходит из-под ног и тело становится почти невесомым.

Полную потерю веса испытывают парашютисты, когда выбрасываются из самолета, и летчики, когда вводят самолет в пике, то есть направляют его к земле, стремительно снижаясь.

# Сопротивление воздуха

Рассуждая о причине своей маленькой неудачи во время опытов с двумя ядрами, Галилей еще в Пизанском университете пришел к заключению, что всему виною был воздух. Ведь опыт происходил не в безвоздушном пространстве, и, конечно, именно воздух вынудил маленькое ядро отстать от большого.

Опыты с маятниками подтвердили эту догадку. Когда качающиеся шары проносятся мимо пола, видно, как пылинки на полу разлетаются в стороны — их разгоняет ветерок, поднятый движением шаров. Стоит протянуть руку так, чтобы шар пролетел мимо ладони, и рука ощущает легкое дуновение — это шар маятника расталкивает воздух, встречающийся на его пути, и вызывает ветерок. Воздух служит помехой для маятника и оказывает сопротивление его движению.

Галилей взял два шара одинакового веса. Один был свинцовый, а другой деревянный. Наблюдая качания этих шаров, привязанных на нитках одинаковой длины, он заметил, что деревянный шар успокаивается гораздо скорее свинцового. Свинцовый еще раскачивается, а деревянный уже висит недвижимо на своей нитке. Несомненно, воздух мешает движению обоих шаров, но в большей степени его сопротивление сказывается на деревянном шаре, потому что его поверхность больше, чем у свинцового.

Воздух тормозит движение всех предметов: падающих, качающихся, летящих, больших и маленьких, легких и тяжелых, но большие предметы испытывают большее сопротивление воздуха, чем маленькие. И действительно, комок пуха падает всегда медленнее, чем камешек; шерстяной мячик не удается бросить так же далеко, как железную гирьку.

Песчинка и мельничный жернов должны падать с одинаковой скоростью, а если они так не падают, то это, так сказать, не их вина, а результат сопротивления воздуха. Жернов тяжел и падает быстро, но если его раздробить в мельчайшую пыль, то она будет падать несколько часов, — при дроблении общий вес камня не меняется, а поверхность сильно увеличивается. Большое влияние на сопротивление воздуха движению предмета имеет и форма движущегося предмета.

# Ошибка Аристотеля

Аристотель не заметил, какую роль играет сопротивление воздуха, и потому в своих рассуждениях допустил ошибку.

Галилей понял, в чем дело, но не смог окончательно доказать свою правоту. Для доказательства ему надо было проследить за падением тел в безвоздушном пространстве, а этого Галилей сделать не мог: тогда еще не умели откачивать воздух — воздушный насос изобрели только через десять лет после смерти Галилея.

Несмотря на отсутствие решающего опыта, правильность взглядов Галилея быстро признали все ученые — бесчисленные примеры чуть ли не на каждом шагу доказывали, что воздух мешает движущимся предметам: он тормозит их движение.

Галилей упорно подтачивал учение Аристотеля о движении. Он трудился, как бобр, собравшийся свалить толстое дерево. Зубами перегрызая ствол, бобр отдирает щепку за щепкой, кусок за куском до тех пор, пока дерево не рухнет под собственной тяжестью. Так и Галилей каждым своим опытом разрушал и опровергал какое-нибудь неверное положение Аристотеля. Взамен он высказывал новые мысли, проверенные опытом и выраженные математическими формулами. Он создавал основы физики, опирающейся на опыт и на измерения.

Загадка летящей стрелы, которая поставила Аристотеля в тупик, Галилею совсем не казалась загадкой. Стрела, выпущенная из лука, или камень, брошенный пращой, летят вовсе не потому, что их подгоняет воздух, устремляющийся им вслед. Это неправильное объяснение. Дело в том, что стрела и камень получили толчок: стрела от тетивы лука, камень от пращи; и они летят, потому что им сообщена некоторая скорость. Но эта скорость постепенно иссякает: ее гасит сопротивление воздуха, — стрела и камень падают на землю гораздо раньше, чем это должно было бы случиться, если бы на них действовал только собственный вес.

Рухнуло еще одно неверное заключение Аристотеля: древнегреческий мыслитель полагал, что воздух подталкивает падающее или летящее тело вперед. Галилей установил совершенно противоположную истину: воздух оказывает сопротивление всякому движущемуся предмету.

Современные инженеры придают всем движущимся машинам такую форму, которая позволяет им успешнее преодолевать сопротивление воздуха. У кузовов автомобилей все углы закруглены, сглажены, все выступающие части убраны, и это

сделано вовсе не потому, что так красивее, а потому, что округленные, обтекаемые формы уменьшают сопротивление воздуха. Конструкторы придают обтекаемые формы самолетам, тепловозам, пароходам, подводным лодкам и т. п.

Пули и артиллерийские снаряды делают заостренными, чтобы им легче было рассекать воздух. Мины для минометов и небольшие авиационные бомбы имеют форму капель, потому что жидкость, падая с высоты, разбивается на капли, которые сами принимают форму, облегчающую им падение.

Сопротивление воздуха оказывается весьма полезным, если нужно замедлить падение. Парашютист, выбросившись из самолета, распускает свой парашют, и этот огромный зонтик встречает столь сильное сопротивление воздуха, что падение замедляется и становится совершенно безопасным.

# Ускорение силы тяжести

Галилей обратил внимание на то, что всякое падающее тело сначала летит медленно, а потом все быстрее и быстрее — его движение ускоряется. Ученому хотелось измерить, насколько именно ускоряется падение, то есть насколько возрастает в каждую секунду скорость падающего предмета. Но как провести такие измерения? Сбрасывать шарики с высокой башни бесполезно: они падают слишком быстро, а измерять короткие промежутки времени Галилею было нечем — часов-секундомеров тогда не существовало.

Ученый решил замедлить падение так, чтобы оно стало доступным измерению с его скудными средствами. Пусть, решил Галилей, шарик скатывается по наклонному желобку. Если наклон невелик, шарик покатится так медленно, что можно успеть проследить за изменением его скорости.

Галилей взял доску толщиной в три пальца и длиной в двенадцать локтей (на наши меры это приблизительно семь метров), поставил ее на ребро и вдоль всей доски вырезал желобок. Желобок он оклеил самым гладким пергаментом, а пергамент старательно выгладил и отполировал, чтобы небольшой бронзовый шарик катился по желобку без помех.

*Шарик катится по наклонному желобку.*

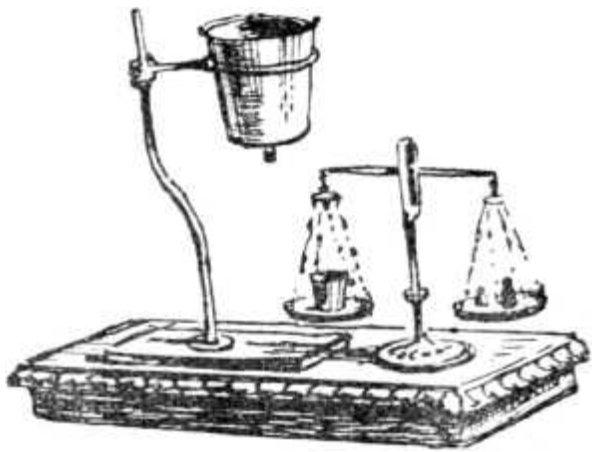
Однако для измерений все равно ему нужны были часы. Некоторое подобие часов тогда имелось, но с очень несовершенным механизмом. Современник Галилея — астроном Тихо Браге купил для своей обсерватории механические часы, но почти не пользовался ими. Они были на редкость капризны и

ненадежны.

Словом, часов Галилей не имел. Такое препятствие, конечно, не могло его остановить. Галилей изготовил самодельные водяные часы.

Взял ведро, просверлил в его днище отверстие и подставил под него стакан. В ведро Галилей налил воды, а дырочку заткнул.

Во время опытов ученый одной рукой пускал шарик по желобу, а другой управлял своими часами: пустит шарик и откроет отверстие, а как только шарик докатится до намеченной черты, затыкает дырочку и убирает стакан с набежавшей в него водой.



*Водяные часы Галилея.*

Галилей взвешивал стакан и по количеству собравшейся в нем воды определял промежутки времени. Он в шутку говорил:

— Мои секунды мокрые, но зато я могу их взвешивать.

Конечно, при таком способе измерения времени очень легко было ошибиться. Чтобы уменьшить величину возможной ошибки, Галилей каждый опыт повторял по нескольку раз, стараясь натренироваться так, чтобы как можно проворнее открывать и закрывать дырочку в ведре с водой. В этом хлопотливом деле ученый приобрел большую сноровку.

Сначала Галилей пускал шарик с верхнего конца наклонного желоба так, чтобы он прокатился по всей его длине. Воды в этом случае набирался полный стаканчик. Потом Галилей разметил желобок по длине на четыре равные части и стал замечать время, в течение которого шарик пробегал только четвертую часть всего пути. Воды при этом набиралось только полстаканчика — ровно вдвое меньше, чем в первом случае.

Затем ученый скатывал шарик с середины желоба, то есть давал ему пробежать половину пути, и опять взвешивал набежавшую воду.

Галилей сделал несколько сотен таких опытов и убедился, что падение шарика по наклонному желобу не просто ускоренное движение, а равномерно-ускоренное.

Скорость падения шарика возрастает равномерно — она прибывает каждую секунду, так сказать, одинаковыми порциями. Свободное падение предметов происходит по тому же закону.

Однако точно измерить, насколько возрастает скорость падающих предметов, самому Галилею так и не удалось — он допустил ошибку, уменьшившую величину ускорения ровно, вдвое. Эту ошибку Галилея исправили другие ученые. Теперь установлено, что свободно падающее тело за одну секунду ускоряет свое движение на 9,81 метра в секунду.

Величина 9,81 метра в секунду называется ускорением свободного падения под действием силы тяжести.

# Самое важное открытие

Когда Галилей катал свой шарик по наклонному желобу, у него возникла мысль, сначала удивившая его самого. Он рассуждал так:

— Я пустил шарик вниз по наклонному желобу, и он покатился с ускорением. Это так и должно быть, потому что на него действует сила тяжести, она подгоняет его. Но если я толкну шарик по наклонному желобу и заставлю его катиться не вниз, а вверх, он покатится с замедлением. Это тоже совершенно понятно — сила тяжести тормозит его движение. Предположим, что я толкну шарик по горизонтальному желобу, — продолжал свои рассуждения Галилей, — как он покатится в этом случае? С ускорением?..

Конечно, нет! С ускорением он катиться не может, потому что нет уклона. И с замедлением он не покатится, потому что нет подъема. Значит, в этом случае он может катиться только равномерно. И если сделать желобок бесконечно длинным, шарик будет катиться по нему бесконечно долго и никогда не остановится.

Но люди скажут, что так не бывает. Катящийся шарик все равно остановится. Это верно. Но остановится не только потому, что ему помешает воздух, — помешают неровности пути, то есть — помешает трение. А на дорожке без трения, где шарик не встретит сопротивления своему движению, он сможет продолжать его вечно и безостановочно.

Повседневный опыт доказывал людям, что на земле движение не бывает безостановочным, оно никогда не длится бесконечно. Самая хорошая тележка, прокатившись с разгона некоторое расстояние, в конце концов останавливается. Даже волчок, который способен очень долго вращаться, повертевшись несколько минут, падает. Качели не качаются вечно. Люди никогда не видели, чтобы какой-нибудь предмет на земле мог долго двигаться сам по себе, и они думали, что движение не вечно, оно будто бы само собой иссякает, прекращается.

Чтобы какой-либо предмет двигался, его надо обязательно тянуть, толкать, катить, волочить, везти, запрячься в него самому или запрячь лошадей, быков, верблюдов, приспособить силу ветра или силу падающей и текущей воды — словом, для этого необходимо непрерывное действие силы. И люди растили быков и лошадей, шили паруса, строили ветряные и водяные мельницы, чтобы в помощь своим слабым мускульным усилиям присоединить силу животных или силу ветра и падающей воды.

Применение силы казалось людям причиной всякого движения. «Только движимое движется», — утверждал Аристотель. Но это было поверхностное, одностороннее суждение.

Люди видели действие сил, но не обращали внимания на постоянное противодействие им трения всех видов.

Однако нельзя сказать, что люди не знали о существовании трения. Всем издавна известно, что волочить сани по песку страшно трудно. Тянуть их по бесснежной дороге тоже нелегко, но все же не так плохо, как по песку. Зимой же по снегу сани катить несравненно легче, чем по камням. А по льду? По льду сани скользят без всякой задержки, так что их приходится только чуть-чуть подталкивать. Чем глаже дорога, тем лучше езда.

В глубокой древности люди ездили зимой и летом на санях. Летние сани назывались волокушами. Потом изобрели колесо и стали ездить на телегах и арбах. Прошли годы — научились смазывать оси дегтем или салом, уменьшилось трение и стало еще легче ездить.

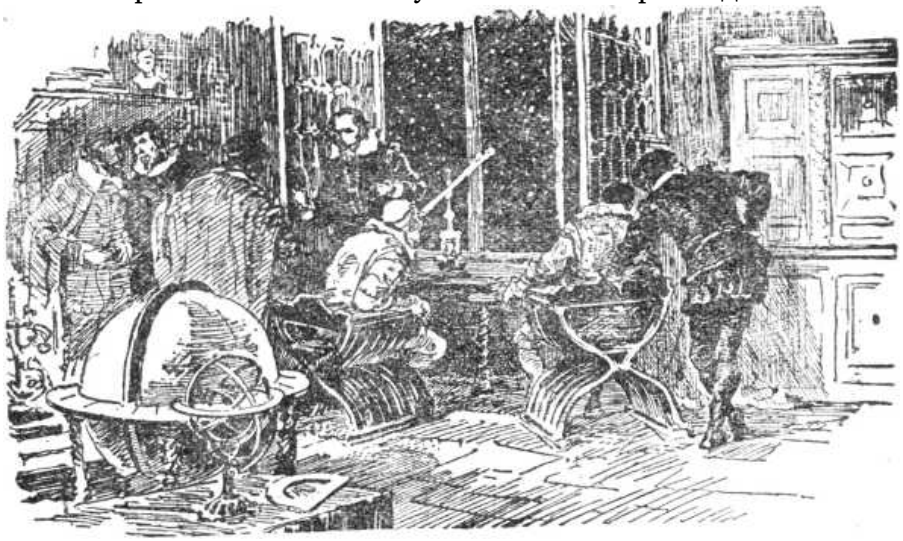
Люди издавна довольно успешно боролись с трением на практике, но сути дела не понимали; они два различных явления объединили в одно — не отделяли действие силы тяги от сопротивления сил трения. Это разъяснил Галилей, указавший на тысячелетнюю ошибку. Он помог людям понять, что одни повседневные наблюдения, одна практика, один опыт без точных наук слепы, что они могут вести к ошибкам и заблуждениям. Наука, приводя в порядок наши знания, освещает путь практике, помогает осмысливать наблюдения, указывает на правильные истолкования результатов опыта.

Многолетний труд Галилея привел к тому, что законы движения Аристотеля всеми были признаны несостоятельными, — их отбросили как неправильные и ошибочные. Установлено было, что никакой разницы между «естественными» и «насильственными» движениями нет. Все движения естественные, потому что совершаются на основании естественных законов природы.

Галилей показал, что для движения предмета не нужно, чтобы сила действовала непрерывно, — ему достаточно дать толчок, и если этот предмет не встретит сопротивления, то будет двигаться безостановочно и равномерно, то есть с постоянной скоростью и вечно. Этот закон был впоследствии назван законом инерции, а способность предметов сохранять постоянной скорость движения — инерцией.

Силу приходится применять только для того, чтобы преодолевать сопротивление — противодействовать тормозящему

влиянию трения — или чтобы увеличивать скорость движения.



*Галилей показывает друзьям свой телескоп.*

## Последние годы жизни

В 1609 году Галилей построил телескоп. Впоследствии он усовершенствовал его так, что тот стал давать увеличение в тридцать два раза. С помощью своего телескопа Галилей сделал много важных астрономических открытий. Он увидел на Луне горы и равнины, очень похожие на те, которые есть и на Земле, и тем самым опроверг утверждение церковников, что Луна будто бы светоносный сосуд — светильник, созданный для освещения ночи.

*Вид Луны в телескоп.*

По наблюдениям Галилея, Луна оказалась шарообразной планетой, подобной Земле. А ее фазы, зависящие от того, с какой стороны Луну освещает Солнце, оказались полностью сходными с фазами планеты Венеры, которые Галилей мог наблюдать в свой телескоп.

Возле Юпитера Галилей заметил четыре луны — спутников этой планеты. Они обращались вокруг Юпитера так же, как и Луна обращается вокруг Земли. Это опровергло другую выдумку церковных ученых, утверждавших, что якобы только вокруг Земли могут обращаться другие небесные тела.

*Юпитер и его крупнейшие спутники, открытые Галилеем.*

Астрономические открытия Галилея подтвердили правоту Коперника, великого польского астронома, который предположил, что Земля, как самая обычная планета, обращается вокруг Солнца и одновременно вращается вокруг своей оси. Рискуя жизнью и свободой, Галилей выступил в защиту учения Коперника и постарался как можно шире оповестить всех людей о своих открытиях.

Это навлекло на Галилея гнев владык католической церкви.

Ученого дважды привлекали к церковному суду. В первый раз в 1616 году инквизиторы ограничились увещеванием и запретили Галилею что-либо писать или говорить в пользу Коперника. Галилей не исполнил предписания инквизиторов и в 1632 году снова выступил против освященного церковью аристотелевского объяснения мира.

Семидесятилетнего Галилея опять вызвали на тайный суд инквизиторов. Под угрозой пытки престарелого ученого принудили отречься от учения Коперника и после суда поселили под надзором слуг инквизиции. Последние девять лет жизни Галилей провел хотя и не в темнице, но и не на свободе. Ему было запрещено писать и разговаривать с посторонними людьми.

Тайно от надсмотрщиков Галилей продолжал трудиться над своим последним сочинением.

Борьбу с физикой Аристотеля Галилей начал юношей, продолжал ее свыше пятидесяти лет и на склоне жизни, глубоким стариком и безмолвным узником, нашел в себе силы не уступить и продолжать бороться. Измученный судом, болезнью и заточением, он не мог завершить все начатые им научные работы и потому писал только о том, что успел сделать. Он излагал основы механики. В предисловии к своей новой книге он написал:

«Мы говорим вполне новое о том, что старо как мир. Понятие о движении присуще всем; философы написали о нем много толстых книг. Но самые важные свойства движения до сих пор не выяснены. Мы их указываем, и работа наша послужит основанием наук, которые разработают великие умы».

Друзья Галилея тайно вывезли рукопись книги и издали ее, но не в Италии, где даже имя Галилея старались не упоминать, а в далеком голландском городке Лейдене. Чтобы не навлечь на Галилея новых кар палачей-инквизиторов, они повсюду рассказывали, что будто бы рукопись похитили у Галилея и издали помимо его воли и желания.

8 января 1642 года Галилео Галилей умер.

Через год, 4 января 1643 года, родился человек, который продолжил дело, начатое великим итальянским ученым.

# ПЕРВЫЙ ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ
## Глава третья
## о законе инерции, о практическом применении и значении этого закона в разных случаях жизни, а также о тех общественных событиях в Англии, которые сопутствовали жизни и деятельности Исаака Ньютона

# Школьные годы Ньютона

Несмотря на поздний час, жители селения Вульсторпа не спали. Встревоженные фермеры перебегали из дома в дом, сообщая соседям тревожное известие. Маленькие дети, разбуженные суетой взрослых, плакали, а старшие просились на улицу — посмотреть, что там случилось. Мужчины собирались группами и старались разглядеть зловещее знамение, появившееся на небе. Там, в темных облаках, плавало белесоватое пятно причудливой формы, а около него подпрыгивала и раскачивалась красная искорка.

Неведомое светило непрерывно двигалось: то поднималось, то опускалось и было похоже на хвостатую комету, считавшуюся тогда предвестницей всяческих бед и несчастий.

Вид этого небесного явления поверг суеверных жителей Вульсторпа в великий страх. Да и как могли люди не тревожиться, когда их родина переживала бурное, неспокойное время почти непрерывных восстаний, заговоров и вооруженных столкновений.

Во всеобщей суете не принимал участия только один мальчик. Он стоял возле своего дома под яблоней и время от времени дергал бечевку, которую держал в руке. От этого грозная «комета» начинала подпрыгивать и метаться. Наконец мальчугану, по-видимому, надоела эта забава, и он стал сматывать бечевку на рогульку.

Удивленные вульсторповцы замерли, уставившись на небо, — они увидели, что комета с красным зрачком, виляя и раскачиваясь, опускается прямо в их селение, в сад Анны Ньютон. Все побежали к дому Ньютонов и увидели, как маленький Исаак, притянув воздушного змея, тушит фонарик, привязанный на конце его хвоста.

У рассерженных фермеров сжались кулаки, чтобы проучить мальчишку, подшутившего над ними. Но Исаак уже успел скрыться в доме. Соседи побранились и разошлись, пророча мальчику печальную будущность.

В то время люди были еще очень суеверны, и многие взрослые относились с опаской к хилому на вид, худенькому мальчику из дома Ньютонов — он постоянно придумывал удивительные и непонятные игрушки. Правда, маленького Исаака нельзя было назвать озорником или злым проказником. Наоборот, он редко шалил, почти не играл с товарищами и больше всего любил читать, забившись в уголок сада, а иногда сидел просто так, ничего не делая и о чем-то мечтая. Если же

придумывал для себя забаву, то обязательно необычную, не такую, как затеи остальных ребят.

Однажды Исаак построил ветряную мельницу, но она у него махала крыльями без всякого ветра и могла крутиться много часов подряд. Кое-кто из соседей обходил дом Ньютонов стороной, а на непонятную игрушку и смотреть не хотел — люди подозревали мальчика в колдовстве.

Но Исаак и не старался объяснить секрет своей самоделки. И только тогда, когда никого не было поблизости, открывал дверку мельницы и выпускал оттуда мышонка, чтобы покормить его. Этот мышонок, бегая внутри мельницы, крутил колесо, которое и приводило в движение ее крылья.

*Загадочная мельница.*

В 1655 году, когда Исааку пошел тринадцатый год, мать

отдала его в грэнтэмскую школу. Грэнтэм — небольшой городок, расположенный близ восточного берега Англии, примерно в десяти километрах от Вульсторпа.

Ньютон учился прилежно. Генри Стокс, школьный учитель, очень любил его. Мать изо всех сил старалась вырастить детей грамотными, но была бедна и часто не имела денег, чтобы заплатить аптекарю Клэрку, у которого Исаак жил на квартире. А отец Ньютона умер незадолго до его рождения. Мальчик проучился всего лишь неполных четыре года, и мать была вынуждена взять его из школы, чтобы он помогал ей по хозяйству на ферме.

Детство Исаака Ньютона совпало с началом гражданской войны между сторонниками короля и сторонниками парламента. Эта война длилась почти двенадцать лет и сильно разорила страну. Налоги поглощали все доходы, многие фермеры обеднели. Анна Ньютон старалась сохранить ферму от продажи и разорения, она надеялась, что сын поможет, — ведь ему уже исполнилось пятнадцать лет.

Однако Исаак оказался плохим помощником в хозяйстве. Больше всего его интересовали книги и наука. В 1658 году Ньютон проделал свой первый «научный» опыт: во время сильной бури он попробовал определить силу ветра и для этого стал прыгать сначала против ветра, а потом — по ветру и измерял длину своих прыжков, определяя, насколько прыжок по ветру получается длиннее прыжка против ветра.

Учитель Стокс не мог примириться с тем, что его способный и любимый ученик пасет скот и перекапывает огород. Он пошел к Анне Ньютон и упросил ее вернуть Исаака в школу. Уговоры подействовали. Ньютон снова начал учиться, а Стокс помогал ему подготовиться к поступлению в университет.

# Буржуазия захватывает власть

Примерно за год до рождения Исаака Ньютона проезжие люди занесли в Вульсторп тревожное известие: король английский, Карл I, покинул свою столицу, Лондон, и уехал на север страны. Он намерен собрать армию, чтобы начать войну против парламента.

В английском парламенте того времени большинство принадлежало депутатам от купечества, судовладельцам-корабельщикам, банкирам, предпринимателям, хозяевам промышленных предприятий и помещикам средней руки. Словом, там заседали представители зажиточной части городского и сельского населения, которая впоследствии стала называться буржуазией.

В Англии буржуазия настолько окрепла, что вступила в открытую борьбу с феодальным строем и всеми силами старалась ограничить власть первого из феодалов — короля. Буржуазия намеревалась сама эксплуатировать крестьянство и городскую бедноту, а для этого ей надо было вырвать власть из рук короля. Но феодалы не хотели уступать буржуазии «право» грабить и угнетать народ и, чтобы решить этот спор, взялись за оружие.

Со всех концов к королю собирались феодалы — богатые и знатные землевладельцы, со своими слугами и солдатами. 22 августа 1642 года начались военные действия.

Буржуазия сначала не решалась призвать в армию крестьян и городскую бедноту — ведь им пришлось бы дать в руки оружие. Поэтому парламент предпочел содержать наемных солдат, которые особой стойкостью в бою не отличались. Привычные к войне, хорошо обученные солдаты короля без особого труда побеждали «круглоголовых», как тогда называли сторонников парламента. «Круглоголовые» дрались преимущественно в пешем строю. И когда появлялась прекрасно вооруженная конница «кавалеров» — такова была кличка сторонников короля, — сторонники парламента обычно разбегались.

Армия «кавалеров» подходила к Лондону. Создалось угрожающее положение. Буржуазии не оставалось иного выхода, как призвать на помощь сельскую и городскую бедноту, которая ненавидела насильников-феодалов гораздо сильнее, чем сама буржуазия. Один из наиболее талантливых полководцев армии парламента, Оливер Кромвель, организовал крестьянскую конницу, а затем наемную армию заменил армией народной. И вот тут-то «кавалеры» почувствовали всю силу народной ненависти. Теперь солдат парламента уже не называли

«круглоголовыми». Они получили прозвище «железнобоких», потому что дрались не отступая.

2 июля 1644 года «железнобокие» наголову разбили «кавалеров». А год спустя войска короля были окончательно рассеяны. Карл I бежал в Шотландию, но лондонское купечество заплатило шотландцам крупную сумму, и шотландцы выдали короля. Карла I заточили в тюрьму.

Чтобы окончательно упрочить свое положение, буржуазия хотела избавиться от народной армии. Она не желала делить власть с крестьянской и деревенской беднотой, которая помогала ей завоевать победу над контрреволюционной армией короля.

Парламент решил отослать некоторые полки в дальние районы страны, а остальные разоружить и распустить по домам, чтобы избавиться от солдат, настойчиво требовавших земли и свободы.

Борьбой между парламентом и армией воспользовались сторонники короля — они помогли королю бежать. Он снова собрал войска для борьбы с парламентом. Опять началась гражданская война, но длилась она недолго: силы феодального мира были уже надломлены, ряды сторонников короля сильно поредели. Короля вторично захватили в плен.

На этот раз армия не позволила себя обмануть. Она выгнала предателей из парламента и потребовала суда над королем. И по приговору этого суда 30 января 1649 года Карл I был казнен.

После всех этих событий временная революционность буржуазии рассеялась. Ее помыслы были теперь направлены на то, чтобы как можно скорее договориться с феодалами, обмануть народ и не допустить его к управлению государством.

Борьба буржуазии против крестьян и зарождавшегося в ту пору рабочего класса закончилась тем, что буржуазия отказалась от республики и пригласила на трон Карла II, обещавшего расширить права парламента. Карл II, сын казненного короля, вступил на престол 29 мая 1660 года. Выждав некоторое время, новый король «забыл» все обещания, данные им парламенту. Он стал исподволь подготовлять возвращение старого порядка, который был при его отце. Начались расправы с республиканцами. Власть парламента стала уменьшаться.

Снова началась борьба между приверженцами короля и буржуазией, но теперь ее вели тайно и осторожно. Буржуазия хотела справиться с королем своими силами, не прибегая к помощи народа. Она становилась контрреволюционной и боялась народного восстания гораздо больше, чем усиления королевской власти.

Вот в это смутное время тайной и скрытой борьбы партий

после воцарения Карла II Ньютон приехал в Кембридж — старинный английский город, славившийся своим университетом. Тут юноша поступил в учебное заведение, которое называлось Тринити колледж. Ньютона зачислили в качестве субсайзера — так называли тогда бедных студентов, которые исполняли обязанности слуг у преподавателей университета и старших студентов. За это им разрешалось бесплатно учиться.

# Юноша становится ученым

В университете исключительные способности Ньютона развернулись полностью. Профессора поражались, с какой легкостью он все усваивал и запоминал. Учебник Евклида «Начала геометрии» Ньютон прочитал как увлекательную повесть.

В 1664 году Ньютон стал «действительным» студентом — избавился от унизительных обязанностей слуги. В следующем году он получил первую ученую степень — бакалавра.

Но дальнейшие занятия в университете пришлось прекратить. Осенью 1664 года вспыхнула эпидемия чумы. За лето 1665 года в Лондоне от чумы умерло свыше тридцати тысяч человек. Люди покидали густонаселенные города и разъезжались по деревням. И Ньютон уехал из Кембриджа к себе на родину, в Вульсторп.

Около двух лет прожил Ньютон в Вульсторпе, почти ни с кем не встречаясь. Он нигде не бывал, проводя большую часть времени за письменным столом. Жизнь в глуши, вдали от шумного Кембриджа не тяготила его. Молчаливый и серьезный, он больше всего ценил одиночество и возможность оставаться наедине со своими мыслями, книгами и работой. Ньютон много читал, у него была хорошая библиотека.

Невольное затворничество во время чумы Ньютон называет в своем дневнике лучшей порой юности. Здесь, в уединении, он наметил исследования, которые ему хотелось выполнить. Осуществление этой юношеской мечты полностью поглотило его и заняло всю жизнь. Ньютон работал с неукротимой настойчивостью, трудолюбием и упорством.

Занимаясь математикой, Ньютон создал основы новой ветви ее — высшей математики.

Он написал большую книгу о световых явлениях и изобрел новый тип телескопа, в котором объективом служило вогнутое зеркало.

Ньютон открыл закон всемирного тяготения, а примерно в 1679 году, когда ему исполнилось тридцать шесть лет, он занялся основами механики, продолжая дело, начатое Галилеем.

*Телескоп Ньютона.*

# На плечах гигантов

Еще при жизни Галилея в Италии возникло общество любителей естествознания, которое называло себя Академией Рысьеглазых, то есть зорких, наблюдательных. В 1611 году Галилей был принят в члены этой Академии.

В 1657 году в Италии образовалось еще одно научное сообщество — Академия Опыта. Энергичная деятельность исследователей природы в Академии Опыта привлекла внимание кардиналов папы римского. Инквизиция признала научные изыскания этой Академии опасными для религии и запретила ее деятельность. Одного из членов Академии Опыта, Анатолия Олива, инквизиция арестовала, и он, чтобы избежать пытки, выбросился из окна темницы.

Но никакие преследования уже не могли помешать ученым продолжать свою работу.

В Австрии в это время трудился астроном и математик Иоганн Кеплер. Он изучал законы движения планет и строение солнечной системы.

В Голландии Христиан Гюйгенс исследовал свойства маятника и сформулировал законы удара, проявляющиеся при столкновении двух тел.

Во Франции вопросами движения занимался философ и математик Рене Декарт.

В трудах всех этих ученых накопился огромнейший материал, они проделали много важных опытов, но все их открытия были разобщены и никак не связаны воедино. Некоторые их наблюдения как будто противоречили друг другу, иные просто не находили никакого объяснения… Словом, положение в науке напоминало постройку, к которой подвезли груду строительных материалов. Пришли и каменщики, умеющие возводить стены. Их усилиями удалось кое-что сделать, но настоящего порядка еще не чувствовалось — не было архитектора, способного придать стройность и единство воздвигаемому зданию. Таким архитектором, завершившим постройку Галилея, стал Ньютон. Уже потом, когда Ньютон состарился, его спросили однажды:

— Скажите, пожалуйста, сэр Исаак, каким образом вы смогли совершить столько замечательных открытий?

Ньютон не любил подобных вопросов — он строго посмотрел на спрашивающего и ответил кратко:

— Потому что я стоял на плечах гигантов!

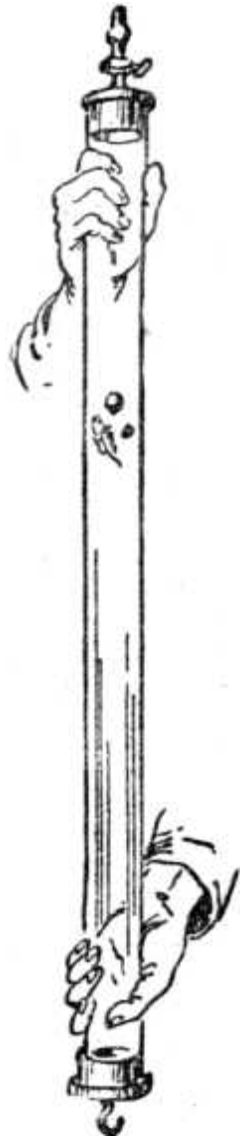
И это был мудрый ответ: ни одно великое открытие нельзя сделать, если оно не подготовлено трудом многих ученых.

## Вес — это сила

Ньютон, так же как и Галилей, начал исследования механического движения с изучения законов падения тел, но его задача была уже несколько проще. В распоряжении Ньютона имелся воздушный насос, о котором Галилей мог только мечтать.

Ньютон взял длинную стеклянную трубку, запаянную с одного конца, положил в нее маленький кусочек пробки и дробинку и присоединил трубку к воздушному насосу. Насос выкачал большую часть воздуха. Ученый запаял второй конец трубки. И дробинка с кусочком пробки осталась в сильно разреженном воздушном пространстве.

Ньютон поворачивал трубку то одним концом вверх, то другим — кусочек пробки и дробинка падали вниз с равной скоростью. Так удалось доказать, что в пустоте предметы разного веса падают с одинаковой скоростью. Теперь эти простенькие приборы — «трубки Ньютона» — имеются в каждой школе.



*Падение предметов в разреженном воздухе.*

Скорость падения не зависит от веса. Падающие предметы веса не имеют, говорил еще Галилей. Значит, сделал вывод Ньютон, вес — это не коренное свойство всех предметов или веществ.

Весом любые предметы обладают лишь до тех пор, пока они на чем-либо лежат или висят, а когда падают — лишаются веса.

Но что же такое вес?

Один из предшественников Ньютона — французский философ-математик Рене Декарт утверждал, что вес — это давление, которое оказывают вещи на землю или на подставку, па

которой они лежат.

Ньютон вспомнил опыты Галилея с ведрами.

Пока вода переливалась из одного ведра в другое, их общий вес был меньше, чем раньше, — падающая вода двигалась свободно, ее ничто не задерживало, она действительно ничего не весила во время падения.

Как только вся вода оказывалась в нижнем ведре, равновесие весов восстанавливалось. И это тоже не удивляло Ньютона. Раз вся вода собралась в нижнем ведре, то и давление ее на дно должно в точности равняться сумме давлений воды в двух ведрах.

Вода как бы снова обрела свой вес.

Но почему тела давят на подставку? Этого Декарт не знал.

Возьмем гирю и подвесим ее на пружине. Пружина растянется. Теперь снимем эту гирю и возьмемся рукой за крючок пружины. Мы можем, приложив усилие, растянуть пружину настолько же, насколько ее растягивала своей тяжестью гиря.

Тяжесть гири и сила руки оказывают на пружину одинаковое действие. Значит, причиной давления тел на подставку — их вес — является какая-то сила.

Ее определил Ньютон.

Это земной шар притягивает к себе гирю и другие тела, удерживая их возле себя.

Мы всюду и везде наблюдаем это явление и называем его тяготением.

Все тела, и большие и маленькие, притягиваются друг к другу, подчиняясь закону всемирного тяготения, открытому Ньютоном.

Итак, вес — сила, с которой предметы, притягиваемые Землей, давят на удерживающие их подставки.

Вес — проявление всемирного тяготения.

## Масса и вес

Ньютон продолжал свои рассуждения: мы прекрасно знаем, что различные вещества, взятые в одинаковых объемах, весят неодинаково. Например, кусочек золота более чем вдвое тяжелее точно такого же кусочка меди. Вероятно, частичку золота, предположил Ньютон, способны укладываться плотнее, чем частички меди, и в золоте умещается больше вещества, чем в таком же по размерам куске меди.

Современные ученые установили, что различная плотность веществ объясняется не только тем, что частицы вещества уложены более плотно. Сами мельчайшие частички — атомы — отличаются по весу друг от друга: атомы золота тяжелее атомов меди.

Количество вещества, содержащееся в том или ином предмете, Ньютон назвал массой.

Масса — то общее, что присуще всем без исключения предметам, — все равно, будут ли это черепки от старого глиняного горшка или золотые часы.

Лежит ли какой-нибудь предмет неподвижно, или свободно падает на землю, или качается, подвешенный на нитке, — его масса при всех условиях остается неизменной.

Когда мы хотим узнать, как велика масса предмета, мы взвешиваем его на обычных торговых или лабораторных весах с чашками и гирями. На одну чашку весов кладем предмет, а на другую гири и таким образом сравниваем массу предмета с массой гирь. Поэтому торговые и лабораторные весы можно перевозить куда угодно: на полюс и на экватор, на вершину высокой горы и в глубокую шахту. Всюду и везде, даже на других планетах, эти весы будут показывать правильно, потому что с их помощью мы определяем не вес, а массу.

Иное дело — пружинные весы. Прицепив на крючок пружинных весов какой-либо предмет, мы сравниваем силу притяжения Земли, которую испытывает этот предмет, с силой упругости пружины. Сила тяжести тянет вниз, сила пружины — вверх, и, когда обе силы уравновесятся, указатель весов останавливается на определенном делении. Пружинные весы верны только на той широте, где они изготовлены. Во всех других широтах, на полюсе и на экваторе они будут показывать различный вес. Правда, разница невелика, но она все же обнаружится, потому что сила тяжести на Земле не везде одинакова, а сила упругости пружины, разумеется, остается постоянной.

На других планетах эта разность окажется значительной и заметной. На Луне, например, предмет, весивший на Земле 1 килограмм, потянет на пружинных весах, привезенных с Земли, 161 грамм, на Марсе — 380 граммов, а на огромном Юпитере — 2640 граммов.

Чем больше масса планеты, тем больше и сила, с которой она притягивает тело, подвешенное на пружинных весах.

Поэтому так много весит тело на Юпитере и так мало на Луне.

# Первый закон

После того как было установлено различие между массой и весом, Ньютон сформулировал свой первый закон движения, выразив его такими словами: «Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменять это состояние».

Этот закон с полным правом мог бы носить имя Галилея— ведь открыл его все-таки Галилей, но итальянский ученый не сумел выразить его так четко, ясно и полно, как это сделал Ньютон. История науки присвоила ему название первого закона Ньютона, закона инерции. Он говорит о свойстве всех тел — вещей, предметов, даже самых малых частиц — сохранять свое движение. Это свойство назвали инерцией.

Значит, при отсутствии внешних сил всякое тело сохраняет свой покой или свое движение. Но это относится не только к тому случаю, когда сила не действует на тело.

А телега, которую тянет лошадь?

Она двигается равномерно, хотя на нее и действуют две силы: тяга лошади и трение колес о землю.

*Ни с места!*

А вот два муравья копошатся возле тяжелой личинки, но личинка ни с места: один муравей тянет ее в одну сторону, а другой — в противоположную. Оба они выбиваются из сил, а личинка спокойно лежит на месте, как будто первый закон Ньютона ее не касается.

В обоих этих случаях на тело действуют две силы, но направлены они в разные стороны и уравновешивают друг друга.

Сила тяги лошади равняется силе сопротивления дороги, силы муравьев также равны между собой. Вот такие силы, равные и противоположно направленные, и называются уравновешенными.

А для тела — что они есть, что их нет — все равно — оно продолжает свое движение.

В первом случае телега движется равномерно; во втором— личинка, которую с двух сторон тащат муравьи, остается на месте.

Силы уравновешены, и оба тела сохраняют свое движение постоянным — ведь покой можно понимать как движение с нулевой скоростью.

Инерция — свойство всего существующего в природе сохранять неизменным свое движение.

В этом и заключается суть первого закона Ньютона.

# По инерции

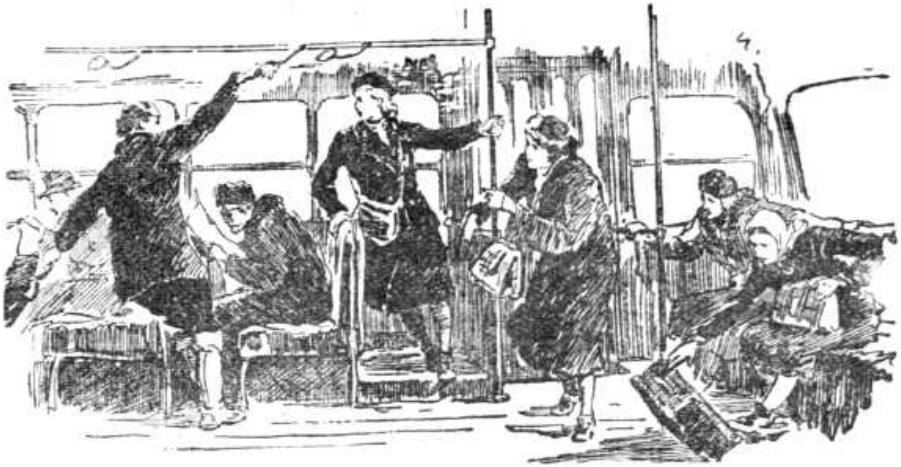
Повседневная жизнь чуть ли не на каждом шагу напоминает о наличии у всех предметов инерции и о связи ее с их массой… Ни одна машина, будь то автомобиль, самолет, паровоз или пароход, не могут сразу, с места, развивать полную скорость. Им обязательно нужен разбег, разгон — некоторое время, чтобы набрать ее. Тяжелые пассажирские самолеты взлетают медленно, с трудом набирая высоту. Легкие спортивные самолеты вследствие меньшей массы взлетают сравнительно легко и быстрее набирают скорость.

Учитывать инерцию приходится и начиная движение, и прекращая его. Никакая машина даже с самыми усовершенствованными тормозами не может остановиться сразу как вкопанная. Велосипедов, мотоциклов или автомобилей с «мертвыми тормозами» не бывает. Чтобы остановить машину, затормозить ее движение, нужно некоторое время, а за это время автомобиль пройдет какое-то расстояние, называемое тормозным путем.

Тормозной путь на хорошей и сухой дороге при скорости автомобиля в сорок километров в час равен примерно десяти-двенадцати метрам. Следовательно, если невнимательный водитель заметит впереди себя препятствие на расстоянии меньшем десяти — двенадцати метров и мгновенно схватится за тормоз, он все равно не избежит аварии, потому что тормоза не успеют полностью погасить скорость автомобиля. Если же дорога скользкая — мокрая или обледеневшая, то машина может разбиться о препятствие. Вот почему водитель обязан быть всегда настороже и помнить об инерции своей машины.

Инерция не только коварный враг неосторожного и неопытного водителя, она — друг умелого. Например, хороший шофер издали оценивает расстояние до препятствия, перекрестка, переезда или остановки и заблаговременно «сбрасывает газ», а то и вовсе выключает двигатель, предоставляя автомобилю спокойно катиться по инерции — ехать «за счет Ньютона», не расходуя в это время ни капли бензина.

Инерция заставляет падать невнимательных людей, когда они идут, не глядя под ноги, и спотыкаются, зацепившись за неровности почвы. Она же валит пассажиров троллейбуса, когда водитель чересчур резко тормозит или рывком берет с места.



*Троллейбус резко затормозил.*

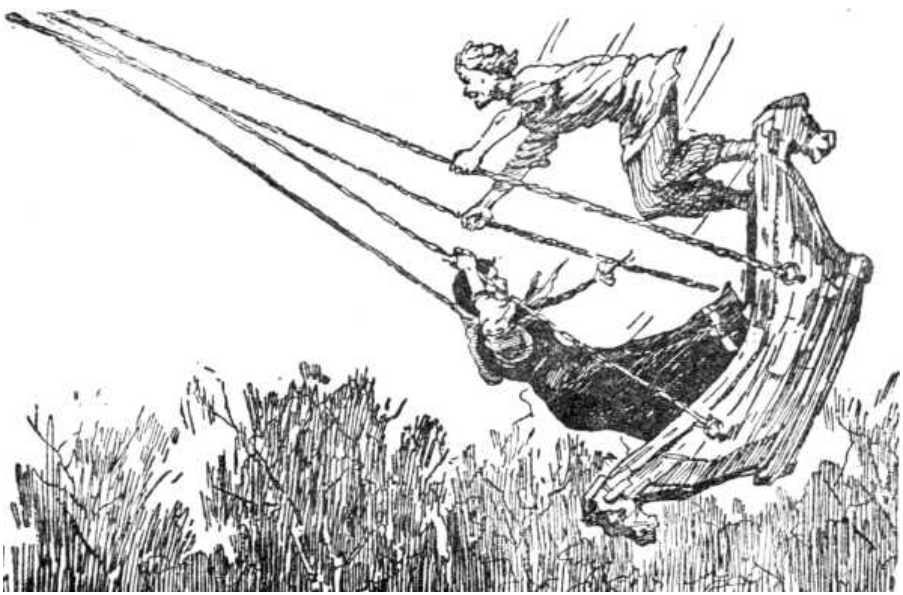
Инерция заставляет снабжать двигатели маховиками, если эти двигатели обладают неравномерным ходом, и, чем неравномернее ход машины, тем больше и массивнее должен быть маховик.

Инерция вместе с силой тяжести заставляет раскачиваться маятники часов, и она же позволяет хозяйкам выколачивать пыль из мягких вещей.

Такие сравнительно неуклюжие машины, как танк, способны «прыгать» через препятствие. Предварительно разогнанная до большой скорости машина по инерции перелетает через ров или обрыв.

Инерцию человечество знало давным-давно, но суть этого явления стала понятна, когда его изучил Галилей, а за ним Ньютон облек в форму закона.

## ВТОРОЙ ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ
## Глава четвертая
## поясняет, что всякое изменение количества движения зависит от величины приложенной силы и от времени ее действия



# Сила изменяет скорость

Своим первым законом движения Ньютон определил, что происходит с предметом, если действующие на него силы уравновешены.

Такой предмет либо движется прямолинейно, либо остается в покое.

Совершенно естественно, что после этого Ньютон задал себе вопрос:

— А что случится с телом, когда на него подействует какая-либо внешняя сила?

Ответ был прост и ясен, его подсказывала повседневная практика: если тело покоилось, то оно придет в движение, а если двигалось, то изменится его скорость — движение замедлится или, наоборот, ускорится. При этом может измениться и направление движения. Все зависит от того, куда будет направлена действующая сила: если по направлению движения, то оно ускорится, если против — замедлится. А если сила действует беспорядочно, то и движение будет изменяться самым причудливым образом. Так бывает, например, когда осенний ветер гонит опавшую листву. Он то даст листьям полежать спокойно, то подхватывает, несет и кружит, вздымает ввысь и снова бросает наземь.

И Ньютон установил свой второй закон движения — один из основных законов механики:

«Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит в направлении той прямой, по которой эта сила действует».

Говорят иногда и так: «Ускорение тела прямо пропорционально действующей на тело силе и обратно пропорционально массе этого тела».

Этот закон уничтожил остатки учения Аристотеля о движении. Аристотель и все его многочисленные последователи утверждали, что применение силы сообщает всем предметам определенную скорость. Ньютон вслед за Галилеем доказал иное: применение силы придает телам не скорость, а ускорение, то есть сила обязательно изменяет скорость, увеличивая ее или уменьшая.

Итак, сила изменяет скорость; сила создает ускорение, а ускорение — это и есть всякое изменение скорости: увеличение или уменьшение ее. Конечно, под действием силы скорость может возрастать и быстро и медленно. Чем больше сила, действующая на данное тело, тем быстрее возрастает скорость — тем больше

ускорение. Ускорение появляется под действием силы.

Ньютон, а вслед за ним и остальные физики стали называть силой все, что изменяет скорость или направление движения. Сила тяжести также вызывает ускорение, и падение предметов является ускоренным движением.

Если на тело действует несколько сил, их можно суммировать и заменить одной — равнодействующей.

На практике почти всегда приходится видеть, что на тело действует сразу несколько сил. А тело двигается так, как будто имеется только одна сила — их равнодействующая.

Когда Галилей изучал ускоренное движение, скатывая шарики с наклонной плоскости, он ведь тоже имел дело с двумя силами: шарик катился под действием составляющей силы тяжести, а сила трения препятствовала движению. Так что Галилей изучал действие на шарики равнодействующей этих сил — их разности.

# Два килограмма

Перипатетики, последователи Аристотеля, главным средством познания природы считали рассуждение. Они были способны часами так и сяк толковать о силах, но никогда не считали нужным их измерить. Современная наука, не отрицая пользы рассуждений, на первое место ставит опыты и точные измерения. Поэтому, прежде чем вести разговор о силах, надо условиться, как и чем их измерять.

Для измерения сил существует прибор, называемый динамометром.

Слово «динамометр» составлено из двух греческих слов: «динамис» — сила и «метр» — мера. Значит, динамометр — это силомер. Динамометр устроен точно так же, как пружинные весы: с одной стороны кольцо, с другой — крючок, внутри — пружина, которая соединена со стрелкой или с указателем, ползающим по шкале.

Динамометры отличаются друг от друга главным образом формой, размерами и силой пружин.

Есть динамометры, пригодные для измерения силы тяги паровозов, и маленькие лабораторные динамометры для точных измерений малых сил.

0
5
10
15

*Различные динамометры.*

Из всех сил природы самая распространенная — это сила тяжести, она всегда «под рукой». Поэтому ученые условились сравнивать с ней все остальные силы. Но так как сила тяжести не везде одинакова, то за образец принята сила тяжести, существующая в одном определенном месте земного шара.

За единицу силы принята сила, с которой притягивается к Земле гиря массой в один килограмм, расположенная на широте Парижа и на уровне моря.

Эта единица силы называется килограммом. А фактически это вес гири в один килограмм.

Таким образом, получилось два различных килограмма: единица массы называется килограммом, и единица силы — килограмм.

Единицы силы и веса совпадают, но в этом нет ничего удивительного: вес — тоже сила. Но единицы силы и массы обязательно надо различать. Поэтому килограмм массы обозначается ***кг***, а соответствующую единицу силы пишут ***кГ***.

# Количество движения

Падает на землю камень. Сила притяжения тянет его вниз. И камень стремительно несется к земле, увеличивая свою скорость. Так и должно быть, раз действует сила.

Но что такое количество движения, о котором говорит Ньютон? Как оно увеличивается под действием силы?

Это определение введено еще во времена Галилея. Количеством движения назвали произведение массы тела на его скорость.

Если массивный предмет движется даже с небольшой скоростью, то все равно остановить его нелегко. То же самое произойдет, если останавливать небольшое по массе тело, которое мчится с большой скоростью. Поэтому и стали говорить о количестве движения. И если изменяется скорость, меняется и количество движения, оно становится большим или меньшим.

Один студент, слушая лекции Галилея, никак не мог понять, что это такое — количество движения. Ученый растолковывал ему и так и этак, но студент с трудом усваивал новое понятие. Тогда находчивый Галилей указал ему на тяжелую гирю:

— А ну-ка, брось ее подальше.

Пыхтя и отдуваясь, студент поднял гирю и толкнул ее что было силы, но тяжелая гиря пролетела совсем маленькое расстояние — всего локтя три-четыре. Потом Галилей подал студенту комочек пуха:

— А теперь брось вот это.

Студент размахнулся и бросил, но комочек пуха пролетел расстояние не больше, чем гиря, и упал рядом с ней.

— Видите, — сказал Галилей, — и тяжелую гирю, и комочек пуха не удается закинуть далеко. Почему плохо летит пух — совершенно понятно: комочек мал, легок, пушист, он встречает большое сопротивление воздуха. Но ведь для тяжелой гири сопротивление воздуха несущественно — воздух гире почти не помеха. Однако бросить ее трудно. Вот и подумайте, почему нельзя швырнуть рукою гирю.

— Силы маловато! — сказали студенты.

— Это правильно. Тяжелую гирю не удается бросить далеко, потому что сила человеческой руки невелика, и она не в состоянии сообщить массивной гире достаточное количество движения.

Такая же гиря, брошенная метательной машиной — баллистой, — может пролететь около тысячи метров. Упругие жгуты баллисты способны придать этому куску железа большую

скорость — большое количество движения.

Каждый, кому приходилось забавляться бросанием камней, знает, что далеко не безразлично, какой вес камня. Хорошо, если камешек попадется по силе, — он летит тогда далеко.

Дальность полета камня зависит, следовательно, не только от силы, приложенной к камню, но и от его массы.

Если масса тела мала, то небольшой силой можно значительно увеличить его скорость.

Но попробуйте сдвинуть с места тяжелый камень — это вам вряд ли удастся.

Поэтому и о величине силы судят не по изменению скорости, а по изменению количества движения. А ускорение может быть различным.

Кроме того, нужно учитывать и время, в течение которого на тело действует сила. Ведь и небольшой силой можно разогнать его до больших скоростей, только для этого потребуется много времени.

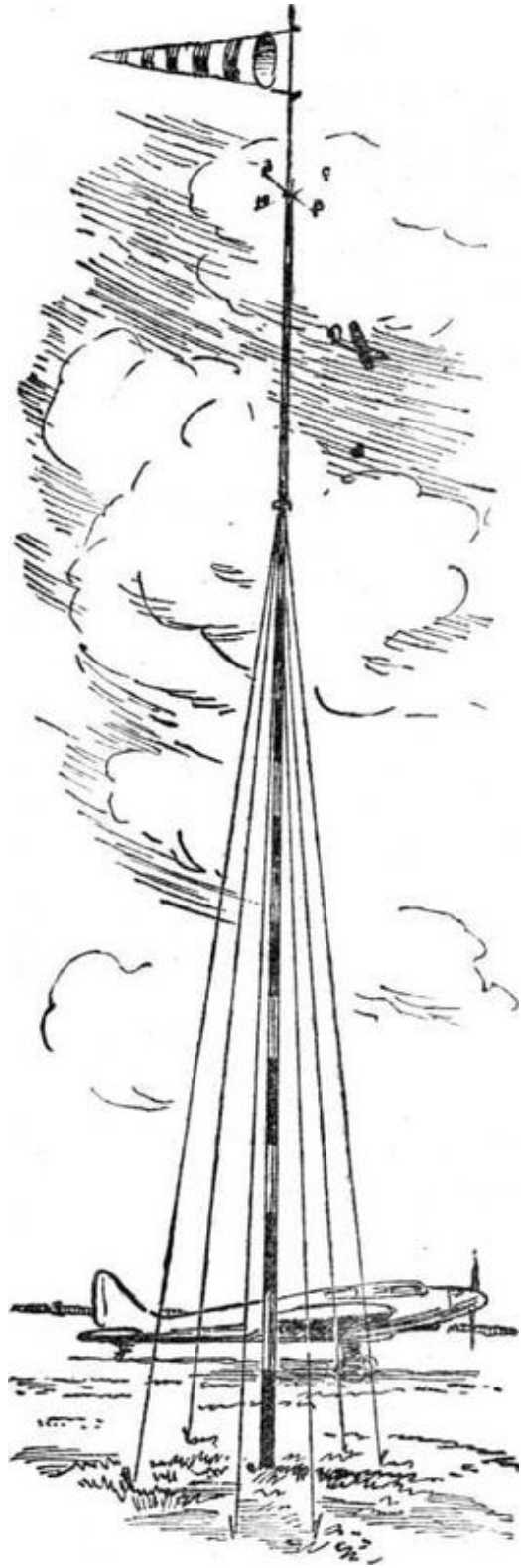
Изменение количества движения зависит, таким образом, от величины приложенной силы и времени действия этой силы.

## Действенность закона

Любая спортивная игра с мячом — будь то волейбол, футбол, баскетбол или теннис — дает множество наглядных примеров действенности второго закона движения. Каждая из этих игр как раз и состоит в том, чтобы применением силы заставлять мяч все время менять скорость и направление движения. А искусство хорошего игрока проявляется именно в умелом использовании законов движения, для того чтобы загнать мяч туда, куда требуют правила и цель игры.

Как в играх, так и в повседневной жизни и технике люди стараются иметь второй закон движения своим другом и союзником, а не врагом.

На аэродромах на высоком шесте развевается большой конус, сшитый из белой или яркой полосатой материи. Ветер надувает его и заставляет поворачиваться, как флюгер. Полосатый конус, хорошо видимый сверху, указывает летчикам направление ветра.



*Аэродромный флюгер.*

На полевых аэродромах, где нет конуса-указателя, в ожидании посадки самолета зажигают дымные костры и выкладывают условный посадочный знак — большую цветную букву «Т» — опять-таки для того, чтобы показать летчику направление ветра.

Летчику необходимо знать, откуда дует ветер, потому что взлетать и приземляться самолеты могут только против ветра, — иначе второй закон движения окажется врагом самолета. При взлете встречный ветер помогает самолету подняться в воздух, сокращая разбег, а при спуске он тормозит движение самолета, облегчая посадку. Если же ветер, особенно порывистый, дует сбоку или сзади, то в обоих случаях, и при взлете и при посадке, может случиться авария — порыв ветра бросит самолет набок или опрокинет его, то есть под действием внешней силы произойдет непредвиденное и нежелательное изменение скорости и направления движения самолета.

Зная второй закон Ньютона, легко и просто объяснить загадку частичной потери веса, которую испытывает человек на качелях, в самолете, попавшем в «воздушную яму», и т. д.

Вот опускается высотный лифт. Первую часть пути он движется ускоренно. И вес пассажира, его давление на пол уменьшается. Часть силы притяжения Земли расходуется теперь на то, чтобы изменить скорость человека, спускающегося в лифте, увеличить ее. Поэтому давление его на пол кабины уменьшается.

Точно так же можно объяснить, что происходит с пассажирами самолета, попавшего в «воздушную яму», с ребенком на качелях, с пилотом космического корабля. Во всех этих случаях происходит частичная потеря веса, а при свободном падении — с ускорением силы тяжести — вес теряется полностью. Так просто объясняется загадочная потеря веса, которая столько времени мучила ученых.

# Пойманная пуля

В дни первой мировой войны во французских газетах промелькнуло удивительное сообщение: летчик ухитрился поймать немецкую пулю рукой, как муху! Дело обстояло будто бы так: самолет летел над немецкими позициями на высоте примерно двух километров. Летчик заметил, что возле него движется какой-то маленький черный предмет. Пилоту показалось, что это шмель или жук, и он схватил его рукой, но, когда разжал ладонь, увидел на ней немецкую винтовочную пулю.

Насколько правдив этот рассказ — неизвестно. Но пуля, выпущенная из винтовки вдогонку самолету, на высоте двух километров находится, как говорится, на излете — ее скорость может сравняться со скоростью самолета. Самолеты же в 1915 году летали довольно медленно. Поэтому в происшествии, рассказанном французским летчиком, нет ничего сверхъестественного и невероятного. Он мог поймать пулю рукой, потому что сила тяжести и сопротивление воздуха уже успели поглотить ее скорость.

Не только пуля — любой предмет, подброшенный вверх, постепенно теряет скорость. От хорошего удара лаптой мяч взвивается «свечой» и летит высоко-высоко. По первому закону движения мяч, получивший толчок, должен лететь по прямой линии и с постоянной скоростью. Но так он полетел бы где-нибудь в межзвездном пространстве, а на Земле, где действует сила тяжести и сопротивление воздуха, движение мячика замедляется. Достигнув наивысшей точки, он на миг останавливается, а потом начинает падать.

При полете мяча вверх на него действовали направленные вниз силы тяжести и сопротивления воздуха. Их равнодействующая, их сумма, — причина замедленного движения мяча.

А когда он падает на землю, сила тяжести направлена по-прежнему вниз, а вот сила сопротивления воздуха — вверх. Ведь она препятствует движению. В этом случае, когда силы направлены противоположно, равнодействующая — их разность.

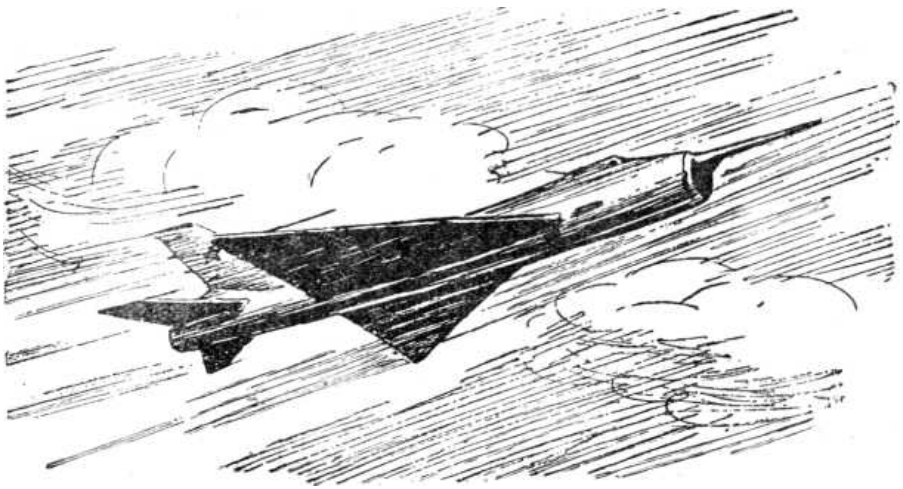
Мяч летит вверх — силы складываются, вниз — вычитаются.

Значит, до наивысшей точки подъема он долетит быстрее, чем упадет на землю.

Но часто сопротивлением воздуха можно пренебречь— тогда, например, когда тело поднимается невысоко. В этом случае силы сопротивления, зависящие от скорости, гораздо меньше силы тяжести. И поэтому приближенно считают время полета тела

вверх и время падения его вниз одинаковыми.

# СИЛЫ ТРЕНИЯ
## Глава пятая
## о вековечных спутниках всякого механического движения — спутниках иногда вредных, иногда нужных и важных, без которых невозможно движение на Земле



# Семейство помех

Сил-помех, замедляющих движение, довольно много — целое «семейство»! Эти силы играют огромную роль в технике и вообще в нашей жизни — они вековечные спутники механического движения, и во многих случаях спутники недружественные, которые как бы цепляются за каждый предмет, стараются его остановить, мешают ему двигаться или заставляют свернуть в сторону. Это всевозможные силы сопротивления.

Всему движущемуся в воздухе мешает сопротивление воздуха.

Всему движущемуся в воде и по воде мешает сопротивление воды.

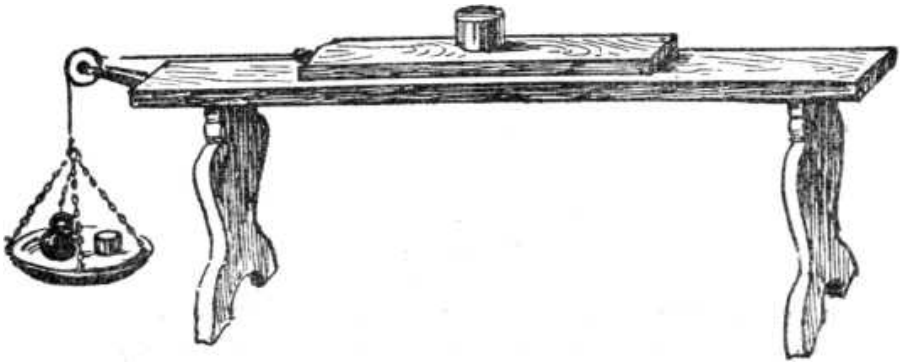
Между полозьями саней и дорогой, между коньками и льдом, между шейками валов и подшипниками возникают силы трения скольжения.

Между колесами и дорогой или рельсами действуют силы трения качения.

И даже когда предмет неподвижен, можно обнаружить силу трения покоя, которая как бы охраняет его неподвижность и мешает нам, если мы пытаемся этот предмет сдвинуть с места. Чтобы сдвинуть предмет, надо преодолеть эту силу.

Трение покоя удобно для нас тем, что оно не позволяет вещам под влиянием слабых толчков сползать и сдвигаться со своих мест. Но оно становится одной из самых вредных помех, когда приходится приводить тела в движение. При движении трение обычно сказывается меньше.

Французский ученый Кулон придумал простой прибор для определения трения покоя между различными поверхностями. На гладкую скамейку он клал доску, привязывал к ней веревку, а на доску клал гирю, прижимающую ее к скамье. Веревка перекидывалась через блок, укрепленный на конце скамьи, и к ее концу подвешивалась чашка от весов. На чашку Кулон накладывал постепенно одну за другой гирьки; сила их тяжести через блок тянула доску вдоль скамьи.



*Прибор Кулона для изучения трения покоя.*

Оказалось, что доска начинала двигаться только тогда, когда вес гирек оказывался достаточным для преодоления трения покоя — при меньших грузах она оставалась неподвижной, несмотря на тягу веревки. Чем тяжелее был груз, который прижимал доску к скамье, тем больше нужно было положить на чашку гирек, чтобы сдвинуть доску с места, — тем больше было трение покоя.

# Хитрость машиниста

На станциях железных дорог иногда приходится наблюдать, как паровоз безуспешно старается стронуть поезд с места. И странно, этот же самый паровоз недавно мчал поезд со скоростью свыше сорока километров в час, успешно втаскивал его на подъемы, а как только остановился, все вагоны как будто сделались гораздо тяжелее.

Но разве вес поезда и его масса зависят от того, стоит он или едет? Вес поезда тут ни при чем, беда кроется в том, что, когда поезд остановился, силы трения покоя словно вцепились во все колеса, во все оси и держат их. Чтобы преодолеть это трение, нужна большая сила тяги — гораздо больше той, какая требуется, чтобы везти поезд, поддерживать его скорость постоянной. Трение покоя больше трения скольжения.

Машинисту надо побороть трение покоя. Он говорит:

— Я его сейчас перехитрю, — и дает тихий задний ход.

Паровоз пятится, и вагоны один за другим по очереди начинают двигаться назад: преодолеть трение покоя одного вагона, конечно, легче, чем иметь дело со всем составом сразу.

Но почему вагоны двигаются поодиночке? Когда паровоз дернул поезд вперед, все сцепные крюки и приспособления были растянуты.

Машинист осаживает поезд на небольшое расстояние, он только сближает вагоны, заставляя буферные пружины сжиматься. Последние вагоны обычно остаются на месте, выполняя роль упора и удерживая все буферные пружины между вагонами в сжатом состоянии.

Затем машинист сразу же дает передний ход. Теперь уже паровоз тянет не весь поезд целиком — он сдвигает вагоны поочередно, потому что они сближены и могут отодвинуться друг от друга на длину сцепных крюков. Благодаря этому паровоз получает возможность преодолевать трение покоя вагонов поодиночке.

В исключительных случаях, когда приходится брать с места очень тяжелый состав, к поезду подходит второй паровоз — толкач — и помогает своему собрату справиться с трением покоя.

# Невидимый тормоз

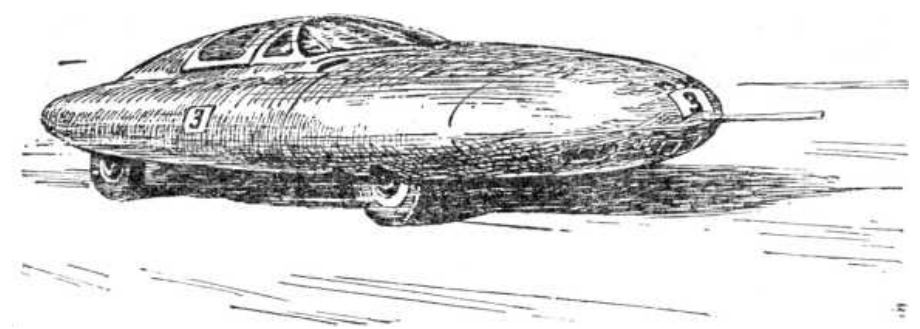
Каждый велосипедист, мотоциклист, шофер, машинист, летчик или капитан корабля знает, что у его машины есть предельная скорость, превысить которую не удается никакими усилиями. Можно сколько угодно нажимать на педаль акселератора автомобильного двигателя, но «выжать» из машины лишний километр в час невозможно.

Автомобиль «Победа» имеет двигатель мощностью в пятьдесят лошадиных сил. Когда водитель нажимает акселератор до отказа, коленчатый вал двигателя начинает делать три тысячи шестьсот оборотов в минуту. Поршни как сумасшедшие мечутся вверх и вниз, подскакивают клапаны, вертятся шестеренки, а автомобиль движется хотя и очень быстро, но совершенно равномерно, и вся сила тяги двигателя уходит на преодоление различного трения.

Вот, например, как распределяется сила тяги двигателя между его «противниками» — разными видами трения при скорости автомобиля сто километров в час: на преодоление трения в подшипниках и между шестеренками расходуется около шестнадцати процентов силы тяги мотора, на преодоление трения качения колес по дороге — примерно двадцать четыре процента, а на преодоление сопротивления воздуха расходуется шестьдесят процентов силы тяги автомобиля.

Трение скольжения с увеличением скорости немного уменьшается, трение качения изменяется очень незначительно, а вот сопротивление воздуха, совершенно незаметное при медленном движении, становится грозной тормозящей силой, когда скорость возрастает. Воздух оказывается главным врагом быстрого движения. Поэтому кузовам автомобилей, тепловозам, палубным надстройкам пароходов придают округленную, обтекаемую форму, убирают все выступающие части, стараются сделать так, чтобы воздух мог их плавно обегать.

Когда строят гоночные машины и хотят добиться от них наивысшей скорости, то для кузова автомобиля заимствуют форму у рыбьего туловища, а на такую скоростную машину ставят двигатель мощностью несколько тысяч лошадиных сил.



*Советский гоночный автомобиль «Звезда».*

Но что бы ни делали изобретатели, как бы ни улучшали обтекаемость кузова, всегда за всяким движением, как тень, следуют силы трения и сопротивления среды. И если они даже не увеличиваются, остаются постоянными, все равно машина будет иметь предел скорости.

Объясняется это тем, что мощность машины — произведение силы тяги на ее скорость. Но раз движение равномерное — сила тяги целиком уходит на преодоление различных сил сопротивления.

Если добиться уменьшения этих сил, то при данной мощности машина сможет развить большую скорость.

А так как основным врагом движения при больших скоростях является сопротивление воздуха, то для борьбы с ним конструкторам и приходится так изощряться.

*Форма авиационной бомбы.*

Предметы, движущиеся в воде — рыбы, подводные лодки, самоходные мины — торпеды и проч., — встречают большое

сопротивление своему движению со стороны воды.

С увеличением скорости силы сопротивления воды растут еще быстрее, чем в воздухе. Поэтому и значение обтекаемой формы возрастает. Достаточно взглянуть на форму тела щуки. Она должна гоняться за мелкими рыбешками, поэтому для нее важно, чтобы вода оказывала минимальное сопротивление ее движению.

Форму рыбы придают самоходным торпедам, которые должны быстро поражать неприятельские суда, не давая им возможности уклониться от удара.

# Скорость падения

Дождевая капля, падая с высоты облаков под действием силы тяжести, сначала движется ускоренно, но сопротивление воздуха быстро уравновешивает силу тяжести, и весь остальной путь до земли капля совершает уже только по инерции с постоянной скоростью.

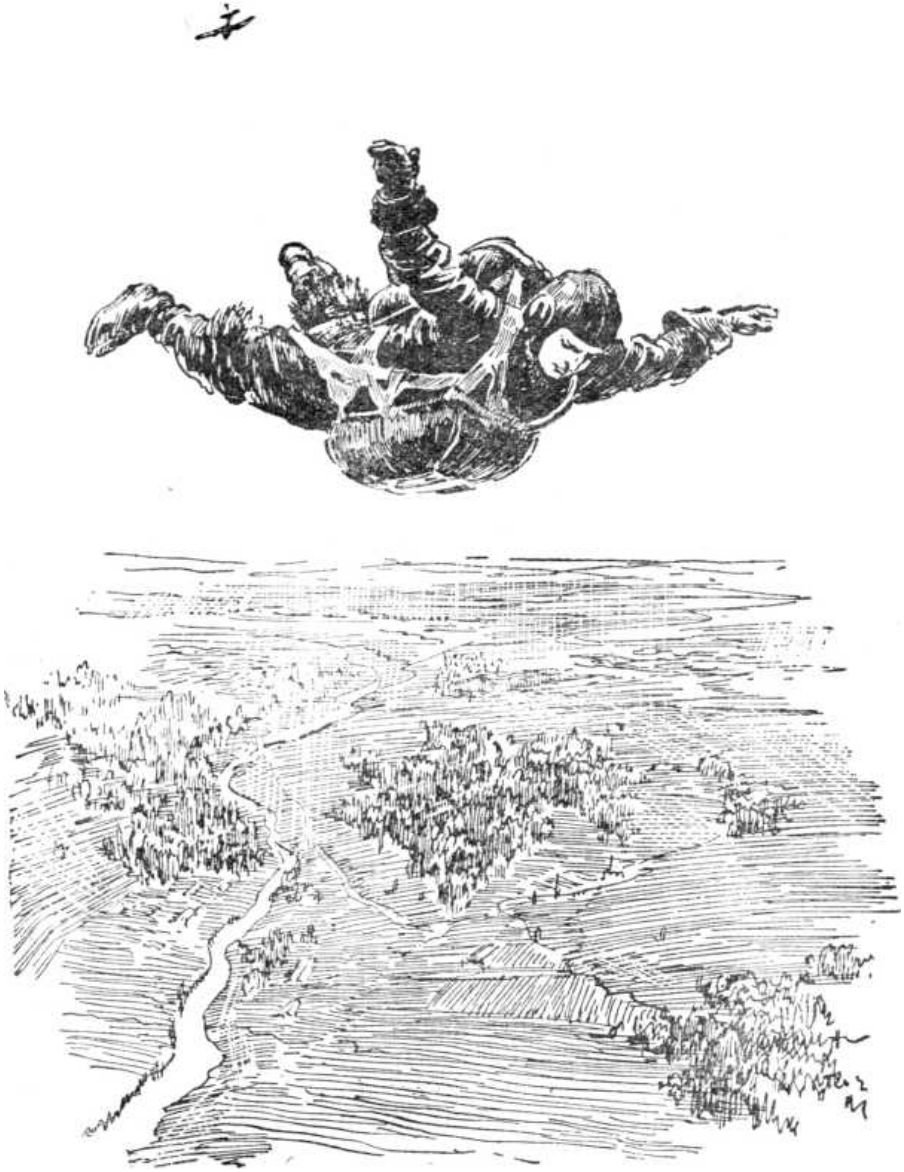
Эта скорость в зависимости от величины капли достигает только десяти-двадцати метров в секунду. И это очень хорошо! Если бы дождевые капли не встречали сопротивления воздуха, то их скорость падения достигала бы сотен метров в секунду. Такие капли убивали бы, как пули. Мелкие животные и птицы были бы истреблены, а людям пришлось бы вооружаться железными зонтиками и носить вместо плащей-дождевиков кольчуги и шлемы.

Но крупные тяжелые градины все же падают с большой скоростью. Они выбивают стекла в окнах, уничтожают посевы, вредят фруктовым садам.

При затяжном прыжке парашютист, выбросившись из самолета, первые восемь — десять секунд падает ускоренно. Примерно на десятой секунде падения возросшее сопротивление воздуха полностью уравновешивает силу тяжести.

Если парашютист не раскроет парашюта, то он будет падать с постоянной скоростью, примерно равной шестидесяти метрам в секунду. И, конечно, упав с такой огромной скоростью на землю, он неминуемо должен разбиться.

Раскрывшийся парашют благодаря своей форме зонтика встречает еще большее сопротивление воздуха и резко тормозит падение. Парашютист приземляется уже с безопасной скоростью.



*Парашютист в воздухе.*

# Непростая задача

Помехи, которые встречает каждый движущийся предмет, ученые называют силами трения и силами сопротивления воздуха, воды — словом, той среды, в которой движется предмет. Но что такое эти силы? Откуда они берутся? Есть, например, сопротивление воздуха. Удивительное дело — воздух легок и подвижен, он никому и ничему не мешает, пока скорость движения мала, но стоит лишь ускорить движение, и сопротивление воздуха становится огромным и в высшей степени вредным врагом движения.

Почему это так?

Сопротивлением воздуха прежде всего заинтересовались артиллеристы. Они старались понять, почему пушечные снаряды не так далеко летят, как им хотелось бы. Расчеты показали, что, если бы на Земле не было воздуха, снаряд семидесятишестимиллиметровой пушки пролетел бы не менее двадцати трех с половиной километров[2], а в действительности он падает всего лишь в семи километрах от пушки. Из-за сопротивления воздуха теряется шестнадцать с половиной километров дальности. Обидно, но ничего не поделаешь!

Артиллеристы улучшали пушки и снаряды, руководствуясь главным образом догадкой и смекалкой. Что происходит со снарядом в воздухе, сначала было неизвестно. Хотелось бы посмотреть на летящий снаряд и увидеть, как он рассекает воздух, но снаряд летит очень быстро, глаз не может уловить его движения, а воздух и подавно невидим. Желание казалось несбыточным, но выручила фотография.

При свете электрической искры удалось заснять летящую пулю. Искра сверкнула и на мгновение осветила пулю, пролетавшую перед объективом фотоаппарата. Ее блеска оказалось достаточно, чтобы получить моментальный снимок не только пули, но и воздуха, рассекаемого ею. На фотографии видны темные полосы, расходящиеся от пули в стороны. Благодаря фотоснимкам стало ясно, что происходит, когда снаряд летит в воздухе.

*Пуля в полете.*

При медленном движении предмета частицы воздуха спокойно расступаются перед ним и почти не мешают ему, но при быстром — картина меняется, частицы воздуха уже не успевают разлетаться в стороны. Снаряд летит и, как поршень насоса, гонит впереди себя воздух и уплотняет его. Чем выше скорость, тем сильнее сжатие и уплотнение.

Для того чтобы снаряд двигался быстрее, лучше пробивал уплотненный воздух, его головную часть делают заостренной.

На фотоснимке летящей пули видно, что у нее позади возникает полоса завихренного воздуха. На образование вихрей тоже тратится часть энергии пули или снаряда. Поэтому у снарядов и пуль стали делать донную часть скошенной, это уменьшило противодействие воздуха. Благодаря скошенному дну дальность полета снаряда семидесятишестимиллиметровой пушки достигла одиннадцати-двенадцати километров.

При полете в воздухе на скорости движения сказывается также трение частиц воздуха о стенки летящего предмета. Это трение невелико, но оно все же существует и нагревает поверхность. Поэтому приходится красить самолеты глянцевитой краской и покрывать их особым авиационным лаком.

Таким образом, противодействие воздуха всем движущимся предметам происходит вследствие трех различных явлений: уплотнения воздуха впереди, образования завихрений позади и небольшого трения воздуха о боковую поверхность предмета.

# Воздушная броня

Метеорные частицы — мелкие камешки и кусочки железа, движущиеся около Солнца в межпланетном пространстве, часто сталкиваются с земным шаром. Измерили скорость, с которой эти камешки влетают в атмосферу: оказалось, что она составляет обычно многие десятки километров в секунду. Заметьте: в секунду, а не в минуту! Метеориты движутся в сотни раз быстрее пассажирского самолета, в сто — сто пятьдесят раз быстрее звука и в десятки раз быстрее артиллерийского снаряда. Путешествие вокруг Земли по экватору с такой «метеоритной» скоростью заняло бы меньше получаса времени.

Скорость огромная, и, казалось бы, такой метеоритик, падая, может наделать много бед.

*Падение метеорита.*

Но известен случай, когда «небесный камешек» упал в корыто, в котором прачка стирала белье. Единственное, что наделал этот космический пришелец, — он обрызгал женщину, стоявшую возле корыта.

Другой такой же метеоритик, падая, запутался в складках широкого кимоно японской девушки. Случалось, что метеориты оказывались на льду озер и прудов. Они лежали как самые обыкновенные камни, брошенные человеческой рукой. Эти метеориты не смогли пробить даже тонкий осенний лед.

Современная наука установила, что самые быстрые пришельцы из межпланетного пространства имеют скорость за пределами атмосферы порядка ста-ста сорока километров в

секунду, но даже такую космическую скорость почти полностью поглощает сопротивление воздуха. Только очень крупные метеориты, весом в несколько тысяч тонн, достигают земной поверхности, сохранив некоторую долю космической скорости. Впрочем, такие гигантские метеориты падают очень редко.

Наш воздух, затрудняя движение автомобилей и велосипедов, в то же время служит нам надежной броней. Атмосфера прекрасно защищает поверхность Земли от космической бомбардировки, и небесные камешки, сгорая в кислороде, сверкают в вышине, давая нам возможность любоваться безобидным зрелищем «падающих звезд».

*Дождь «падающих звезд».*

## Сопротивление воды

Когда моторная лодка мчится по водной глади или торпедные катера идут в атаку, видно, как острый нос корабля или лодки режет волны, обращая их в белоснежную пену, а за кормой кипит бурун и остается полоса вспененной воды.

Сопротивление воды напоминает сопротивление воздуха — вправо и влево от корабля бегут волны, а позади образуются завихрения — пенистые буруны; сказывается также и трение между водой и погруженной частью корабля. Разница между движением в воздухе и движением в воде состоит только в том, что вода — жидкость несжимаемая и перед кораблем не возникает уплотненной «подушки», которую приходится пробивать. Зато плотность воды почти в тысячу раз больше плотности воздуха. Вязкость воды тоже значительна. Вода не так-то уж охотно и легко расступается перед кораблем, поэтому сопротивление, которое она оказывает предметам, весьма велико. Попробуйте, например, нырнув под воду, похлопать там в ладоши. Это не удастся — вода не позволит.

Скорости морских кораблей значительно уступают скоростям воздушных кораблей. Наиболее быстроходные из морских судов — торпедные катера развивают скорость в пятьдесят узлов, а глиссеры, скользящие по поверхности воды, — до ста двадцати узлов[3].

# Первое предположение

Почему вода и воздух оказывают сопротивление движущимся предметам, более или менее понятно — их приходится расталкивать, чтобы проложить дорогу. Но почему так трудно тянуть гужевые сани или катить тележку? Ведь спереди им ничего не мешает, спереди у них ничего, кроме воздуха, нет, воздух для медленно движущихся предметов не помеха, а двигать все-таки трудно — снизу что-то мешает. Это «что-то» называют силами трения.

Разгадка сущности трения пришла не сразу. Ученым пришлось потрудиться, чтобы понять, в чем тут дело, и они едва не встали на ложный путь.

Раньше, когда спрашивали, что такое трение, отвечали так:

— Посмотрите на свои подметки! Давно ли они были новые и крепкие, а сейчас уже заметно сносились, стали потоньше.

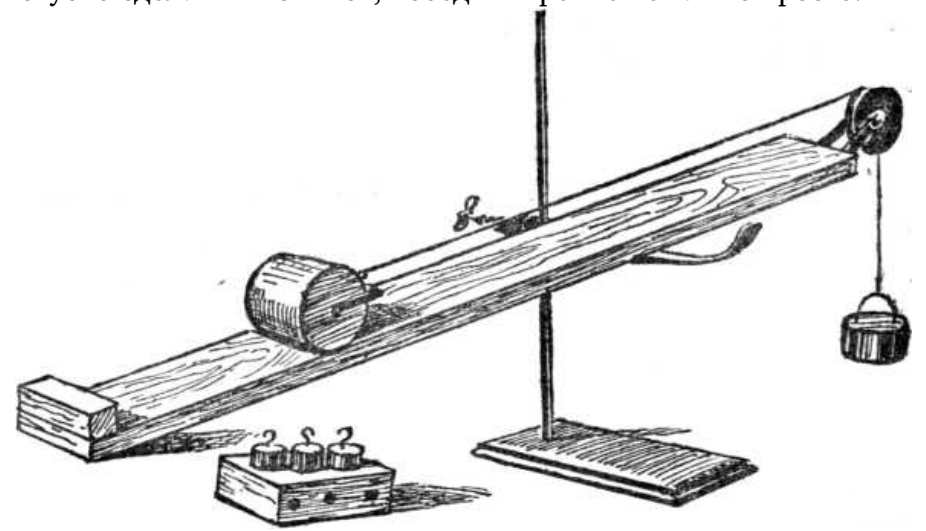
Опыты показали, что аккуратный человек может сделать по хорошей дороге примерно миллион шагов, прежде чем его подметки проносятся насквозь. Конечно, если они из прочной, хорошей кожи.

Посмотрите на ступени лестниц в каком-либо старом здании, в магазине или в театре — словом, там, где бывает много народу. В тех местах, куда люди ступают чаще, в камне образовались углубления: шаги сотен тысяч людей стерли камень. Каждый шаг чуть-чуть разрушал его поверхность, и камень стирался, превращаясь в пыль.

Снашиваются и подметки, и поверхность пола, по которому мы ходим. Стираются рельсы железных дорог и трамвайных путей. Постепенно исчезает, превращается в пыль асфальт шоссейных дорог — его стирают колеса автомобилей. Резиновые шины тоже расходуются, как и резинки, которыми стирают написанное карандашом.

Поверхность каждого твердого тела всегда имеет неровности и шероховатости. Зачастую они совершенно незаметны на глаз. Поверхности рельсов или полозьев саней кажутся очень гладкими и блестящими, но если посмотреть на них в микроскоп, то при большом увеличении будут видны бугры и целые горы. Так выглядят мельчайшие неровности на «гладкой» поверхности. Такие же микроскопические «Альпы» и «Карпаты» существуют и на стальном ободе колеса. Когда колесо катится по рельсам, неровности его поверхности и рельса цепляются друг за друга, происходит постепенное разрушение трущихся предметов, а движение замедляется.

Ничто в мире само собой не делается, и, чтобы производить даже ничтожнейшее разрушение поверхности стального рельса, приходится затрачивать некоторое усилие. Трение скольжения и качения оттого-то и тормозит всякое движущееся тело, что ему приходится расходовать часть своей энергии на разрушение своей же поверхности. Чтобы уменьшить износ трущихся поверхностей, их стараются делать как можно ровнее, как можно глаже, так, чтобы на них оставалось поменьше всяких шероховатостей. Одно время думали, что единственной причиной трения является шероховатость поверхности. Казалось, что трение можно совсем уничтожить, если хорошенько отшлифовать и отполировать трущиеся поверхности. Но, как выяснилось на основании весьма искусно сделанных опытов, победить трение не так-то просто.



*Трибометр.*

# Неожиданный результат

При воспроизведении опытов Кулона с трением покоя взяли стальную плиту и стальной брусок, по форме похожий на кирпич, но только не такой большой. Он прижимался к поверхности плиты силой своего веса. К бруску был приделан крючок. За крючок зацепили пружинные весы — динамометр и, потянув за кольцо динамометра, стали двигать брусок по плите.

Динамометр показывал силу тяги. Если тянуть за динамометр так, чтобы брусок двигался совершенно равномерно и прямолинейно, сила тяги будет в точности равна силе трения. Динамометр покажет величину силы трения скольжения. Она будет несколько меньше силы трения покоя, определенной Кулоном. Но при малых скоростях скольжения эти силы можно считать равными.

Так и делали: протягивали бруски по плите с определенной небольшой скоростью и замечали показания динамометра.

Потом стали шлифовать и полировать трущиеся поверхности плиты и бруска и время от времени измеряли, как изменяется сила трения от такой обработки. Сначала все шло так, как предполагали: чем глаже и ровнее становились трущиеся поверхности, тем слабее сказывалась сила трения. Исследователи уже подумывали, что они вскоре добьются того, что трение исчезнет совсем. Но не тут-то было!

Когда полированные поверхности заблестели, как зеркальные, силы трения стали заметно возрастать. Хорошо отполированные металлические поверхности проявили склонность слипаться.

Это доказало, что силы трения — не только следствие шероховатости трущихся поверхностей, но и результат действия молекулярных сил сцепления, присущих всем веществам, — тех самых сил, которые действуют между мельчайшими частицами вещества, заставляя их прижиматься друг к другу, заставляя твердые тела сохранять свою форму, масло — приставать к металлу, клей — клеить, смолу — липнуть, ртуть — скатываться в шарики. Эти силы сцепления между частичками вещества получили название молекулярных сил.

# «Лекарство от трения»

Во время опытов со стальной плитой и бруском произошел такой случай: однажды в лабораторию принесли пузырек с валерианкой и открыли его — запах валерианки быстро распространился по всей комнате, и… вдруг трение между плитой и бруском резко уменьшилось. Этот случай породил много шуток, так как известно, что валерианку часто употребляют нервные люди в качестве успокаивающего средства, она же оказалась «лекарством от трения».

Впрочем, не только одна валерианка оказалась способной уменьшать трение. То же самое наблюдалось, когда в лабораторию приносили блюдечко с уксусной эссенцией или открывали флакон с духами.

Это явление не вполне изучено. По всей вероятности, летучие вещества, такие, как эфир, на котором настаивают валериановые капли, уксус и др., оседают на поверхности металла в виде тончайших пленок и как-то отделяют трущиеся поверхности друг от друга; может быть, они заполняют мельчайшие впадинки и неровности поверхности металла, сглаживают их, тем самым уменьшая трение, а может быть, эти частички просто перекатываются между соприкасающимися поверхностями, как шарики. В чем тут дело, еще не вполне понятно, но установлено, что летучие вещества уменьшают трение. Трение между слегка загрязненными гладкими поверхностями часто бывает меньше, чем между чистыми.

Особенно резко уменьшается сила трения скольжения, когда трущиеся поверхности смазывают маслом. Вязкое масло заполняет все неровности, затягивает поверхность металла сплошной пленкой. В таком случае происходит уже не движение металла по металлу, а движение одной масляной пленки, приставшей к трущейся поверхности, по другой, приставшей к противоположной поверхности. Сила трения скольжения при этом резко уменьшается.

В качестве смазочного вещества не всегда употребляют масло, для этой цели иногда годятся и другие жидкости: вода, ртуть, растворы мыла и т. п. Твердые вещества, измельченные в тончайший порошок, могут образовывать так называемую сухую смазку. Для этого часто применяют графитовую пыль.

# Возникновение теплоты

При самой лучшей смазке и при самой тщательной шлифовке трущиеся поверхности заметно разогреваются. Всякое трение сопровождается выделением теплоты.

Первобытные люди с помощью трения добывали огонь. Трением пользуемся и мы, когда зажигаем спички. Во время работы токарных и других станков резцы, сверла и фрезы нагреваются так, что их приходится охлаждать струей жидкости. Вьется дымок под салазками, на которых спускают на воду корабли. При работе точильного камня и из-под тормозных колодок, когда они схватывают вращающиеся колеса, вылетают потоки горящих искр.

От быстрой езды резиновые шины автомобилей разогреваются иногда настолько, что до них нельзя дотронуться рукой. Еще сильнее нагревается летящая в воздухе пуля. В темном небе вспыхивают светлые звездочки метеоров, сгорающих при попадании в атмосферу; поверхность метеоритов, достигающих поверхности земли, всегда бывает оплавлена.

Выделение теплоты при движении тел является самым существенным признаком наличия сильного трения. Энергия механического движения преобразуется при этом в тепловую.

*Древний способ добывания огня.*

# Скользкость льда

Что лед скользок, знают все, а вот почему он скользок— не всякий сумеет объяснить. Один английский ученый утверждал, что лед скользок потому, что он обладает замечательной способностью плавиться под давлением — таять.

— Конькобежец тяжел, а скользкая поверхность конька мала, — говорил этот ученый. — От сильного давления лед слегка плавится, подтаивает. Между скользящей поверхностью конька и льдом образуется тончайшая пленка воды. Эта вода служит естественной смазкой и делает лед скользким.

*Конькобежец на льду.*

Такое объяснение в течение долгого времени считалось общепризнанным и правильным. Так было напечатано в старых учебниках и в популярных книгах. Но это объяснение оказалось не совсем верным. Между поверхностью льда и коньком действительно образуется пленка воды, но получить ее одним только давлением нельзя, даже если на коньки поставить слона.

Ошибку разъяснил советский ученый В. Б. Вейнберг.

На коньках катаются не только взрослые и толстые люди, обладающие солидным весом. Это любимая забава малышей. Они прекрасно скользят на коньках, хотя давление на лед,

оказываемое ими, совсем невелико.

Если бы лед под коньком действительно плавился от давления, то кататься на катке можно было бы только при температуре не свыше одного градуса мороза. В действительности же в оттепель кататься не так уж хорошо, на морозе куда лучше!

Дело не в давлении, а именно в том, что всякое движение в земных условиях всегда сопровождается трением, а всякое трение ведет к выделению теплоты. Трение между льдом и сталью конька порождает тепло. От этого тепла и плавится лед, а образовавшаяся при этом водяная пленка создает смазку и облегчает движение конькобежца.

Во время очень сильных морозов теплоты, развивающейся от трения, оказывается уже недостаточно, чтобы расплавить лед под коньком. Тогда кататься на катке неприятно — спортсмены говорят, что лед «сухой».

# Польза трения

Однажды по шоссе шла автомашина, груженная трехметровыми рельсами. Рельсы высовывались через незакрытый задний борт.

Со стороны было заметно, что грузовик движется как-то неуверенно, рыская из стороны в сторону так, как будто шофер не в силах совладать с рулевым управлением. Вот машина внезапно перешла на левую сторону дороги, шофер схватился за тормоз, автомобиль выровнялся и вернулся на правую сторону. Но как только водитель снова увеличил скорость, машина опять начала вилять вправо, влево; шофер — за тормоз, но, видимо, не успел, и грузовик уткнулся в канаву. Канава была неглубока. Серьезной аварии не случилось.

Шофер включил заглохший двигатель и задним ходом выбрался на шоссе. Тут он остановил машину на обочине и стал осматриваться — почему машина перестала слушаться руля? Он проверил рулевое управление — все было в порядке; пошел осматривать груз…

*Что случилось с машиной?*

Вдруг, скинув куртку, стал перекладывать рельсы. Он догадался, в чем дело. От тряски рельсы сползли назад, и передок машины стал приподниматься. Еще немного — и машина стала бы «на дыбы». Передние колеса катились, еле задевая за землю. При каждом толчке они вовсе утрачивали сцепление с землей. Трение между передними колесами и дорогой стало ничтожно малым; именно поэтому машина потеряла управление.

Причина оказалась в недостатке трения. Она часто играет очень важную роль. Если у паровоза трение колес о рельсы будет

мало, колеса начнут буксовать и паровоз не сможет сдвинуть поезд. С непривычки трудно бывает быстро ходить по гладкому, натертому воском паркету — ноги скользят и не дают необходимой опоры.

Значит, трение не всегда вредное явление. Часто оно бывает полезным, а иногда и просто необходимым.

# Дорога поворачивает машину

Шофер, поворачивая штурвал автомобиля, тем самым заставляет повернуться его передние колеса. Они становятся уже не вдоль дороги, а слегка вкось. Машина по инерции стремится продолжать движение в прежнем направлении, но передние колеса повернулись и встречают значительное сопротивление дороги. Сила трения дороги поворачивает весь автомобиль в ту сторону, куда его поворачивает шофер.

Самолеты, пароходы и простые лодки также используют силу трения и силу сопротивления воды или воздуха, когда им необходимо изменить направление своего движения. Для этого у них есть руль. Пока лодка движется прямо, ее руль стоит по ходу и почти никакого сопротивления со стороны воды не встречает: струи его легко обтекают.

Но как только руль поворачивает в сторону, на одну его плоскость начинают набегать водяные струи — возникает значительное сопротивление воды, и ее давление оттесняет руль, а вместе с ним и корму лодки в сторону, противоположную повороту руля. Нос же лодки направляется в ту же сторону, в какую повернут руль.

На больших кораблях силы, пробуждаемые поворотом руля, бывают настолько велики, что человек не в состоянии удержать в руках штурвальное колесо. На помощь приходит паровая машина или электрический двигатель. На крупных кораблях установлены особые рулевые машины, поворачивающие руль.

## Поворот торможением

Иногда случается, что лодку надо повернуть круто и быстро. В таком случае действие руля оказывается недостаточным и раздается команда:

— Правая (или левая) табань!

Табанить на рыбачьем профессиональном языке означает примерно то же самое, что тормозить.

По этой команде гребцы опускают правые (или левые) весла в воду и ставят их лопасти поперек струй — тормозят движение лодки с одного борта, и лодка поворачивается в эту сторону.

Если же поворот надо выполнить еще быстрее и круче, дается команда:

— Правая табань, левая загребай!

Гребцы правыми веслами табанят, а левыми усиленно гребут. Такое сочетание гребли с торможением заставляет лодку повертываться почти на одном месте.

*«Табань!»*

Тем же приемом пользуется капитан большого парохода, если его корабль снабжен двумя винтами: рулю помогают работой машин. При повороте один винт работает как обычно, другой останавливается или дает задний ход. Соединенная работа руля и двух винтов дает возможность кораблям круто поворачиваться.

Трамваи, паровозы и вообще весь транспорт, движущийся по рельсам, не имеют рулевого управления: оно им не нужно. Его заменяют рельсы и реборды. Реборды, или гребни, — это выступающие края на ободьях колес. Когда колеса катятся по рельсам, гребни упираются сбоку в головку рельсов и не позволяют вагону или паровозу сходить с них. А для трамвайных

путей иногда употребляют особые рельсы с желобком, в котором катятся гребни колес.

На закруглениях пути паровоз или трамвайный вагон стремится по инерции продолжать движение вперед по прямой линии, но гребни упираются в рельсы и заставляют поезд поворачивать.

Гусеничные машины — тракторы и танки — тоже не имеют рулевого управления, такого, как у их ближайших родственников — автомобилей. Тракторами и танками управляют при помощи тормозов. Правая и левая гусеницы имеют отдельные тормоза и отдельные тормозные рычаги. Подтянув правый тормозной рычаг, водитель замедляет ход правой гусеницы, тогда как левая продолжает движение с прежней скоростью, и машина, подтормаживаемая с одной стороны, поворачивается. Такое устройство позволяет гусеничным машинам делать то, что немыслимо для колесных, — они могут поворачиваться почти на одном месте.

# Мир без трения

Жить в мире, где каждому нашему движению препятствует трение, нелегко, но если трение исчезнет, нам придется гораздо хуже. В фантастическом Мире без трения возможны происшествия более удивительные, чем те, что описаны в сказке К. Чуковского «Мойдодыр».

В сказке все вещи героя разбежались в стороны, потому что надо было наказать неряху и грязнулю; но то же самое случится сразу же, как только исчезнет трение. Шевельнется спящий человек, и одеяло, не удерживаемое трением покоя, сползет и отправится путешествовать по комнате, заденет за сапоги, и сапоги поползут куда придется. По еле заметному уклону пола покатится кровать. Она заденет за стол, и стол отправится по направлению полученного толчка. Стол зацепит по дороге за стулья, и очень скоро все вещи соберутся где-нибудь в одном месте. Ведь пол не бывает идеально горизонтальным.

В Мире без трения жизнь человека превратится в непрестанную, упорную погоню за расползающимися и разбегающимися вещами.

При отсутствии трения каждый, даже самый малейший толчок будет вызывать безостановочное движение по инерции у всех предметов. Но сможет ли человек что-либо сделать? Если он встанет на пол, то как устоять на нем? Полы, тротуары, дороги станут более скользкими, чем самый гладкий лед. Ходить по полу будет совершенно невозможно, и передвигаться люди смогут, пожалуй, только при помощи каких-либо липких или клейких веществ, то есть им придется приклеивать себя к полу при каждом шаге. Но это будет возможно лишь при условии, что с исчезновением трения и эти вещества не потеряют своей липкости.

Сразу после исчезновения трения люди с ужасом убедятся, что платье на них расползается. Ведь швы держатся исключительно благодаря трению между нитками и тканью. Все пуговицы оторвутся, все узелки развяжутся, гвозди из ботинок выскочат, и ткани начнут расползаться, потому что волоконца в нитках тоже скреплены трением.

Все часы начнут ужасно спешить, так как в точке подвеса их маятника уже не будет действовать сила трения.

Все тормоза перестанут действовать. Остановить трамвай, поезд, троллейбус или автомобиль окажется невозможным. Все они будут продолжать движение по инерции равномерно, прямолинейно и безостановочно до тех пор, пока не врежутся в

какое-либо препятствие или не свалятся под откос на повороте.

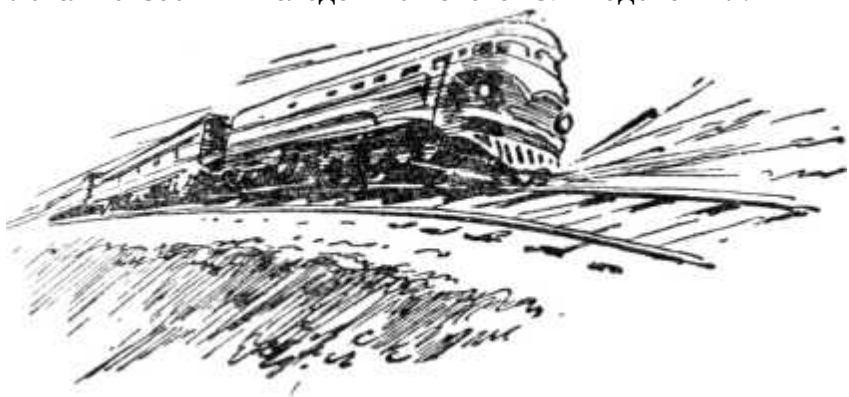
Ураганы, возникшие где-либо на Земле, начнут безостановочное движение вокруг земного шара, все сметая на своем пути.

Громадные волны, поднятые бурями, сделают невозможным сообщение по морю.

Все это может произойти только при частичном исчезновении трения. Если же прекратят свое действие все виды трения, то земной шар превратится в клубок мельчайшей пыли, окутанной такой же пыльной атмосферой.

Трение мешает людям двигаться и двигать, но без трения мы совсем не могли бы передвигаться и даже существовать. Трение не только вредно, но и полезно.

Трение совершенно необходимо и неизбежно. Оно порождено тем, что мир материален и каждый предмет может двигаться только во взаимодействии с другими предметами, а трение является неизбежным следствием этого взаимодействия.



# ЗАКОН ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
## Глава шестая
## о третьем законе движения, который устанавливает самое основное условие возникновения силы

# Дни Ньютона

Над своей книгой по механике «Математические начала натуральной философии» Ньютон начал работать примерно в 1679 году и закончил ее через семь лет, в 1686 году. Когда труд приближался к концу, Ньютон взял себе секретаря — земляка и однофамильца Гемфри Ньютона, который тоже окончил грэнтэмскую школу. Гемфри Ньютон переписывал книгу начисто, перед тем как отправить ее в печать.

Сохранился рассказ Гемфри Ньютона о своем великом однофамильце.

«Сэр Исаак был очень любезным, спокойным и скромным человеком; по-видимому, он никогда не впадал в раздражение; за исключением одного случая, я не видел, чтобы он смеялся…

Он постоянно был занят своей работой, редко ходил к кому-нибудь в гости или принимал у себя гостей.

Сэр Исаак не позволял себе никакого отдыха и передышки, не ездил верхом, почти не гулял, не играл в кегли, не занимался спортом; он считал потерянным каждый час, не посвященный занятиям.

Раньше двух — трех часов ночи он редко ложился спать, иногда засыпал в пять — шесть часов утра. Спал он всего четыре — пять часов. Днем он никогда не спал. Думаю, что его печалила необходимость тратить время на еду и сон.

Занятиями он увлекался настолько, что забывал обедать. Нередко, заходя в его комнату, я обнаруживал обед нетронутым на столе, и только после моего напоминания он стоя что-нибудь съедал. Я никогда не видел, чтобы он садился за стол сам, без напоминания.

Ньютон редко уходил из комнаты, за исключением коротких прогулок в саду и тех случаев, когда ему надо было читать лекции. Его лекции мало кто посещал и еще меньше того — понимал. Часто Ньютону приходилось читать лекции перед пустыми стенами. Не найдя на лекции ни одного слушателя, Ньютон через четверть часа возвращался обратно.

Иногда во время прогулки в саду Ньютон внезапно останавливался, взбегая по лестнице в свою комнату, и, подобно Архимеду, начинал писать за своим наклонным столиком, забывая сесть.

Судя по его озабоченности и постоянной работе, думаю, что он стремился перейти черту человеческой силы и искусства».

Так писал Гемфри Ньютон в своих воспоминаниях об Исааке Ньютоне.

Громадное напряжение всех сил, сосредоточенность и беспримерная настойчивость Ньютона позволили ему завершить книгу, озаглавленную «Математические начала натуральной философии». А натуральной философией в Англии и поныне называют физику. В своей книге Ньютон подвел итог всему, чего достигло человечество за две тысячи лет, прошедших после смерти Аристотеля. Все самое ценное, сделанное учеными за это время, нашло свое место в «Началах» Ньютона. Он отбросил ошибочное, проверил истинное, доделал незаконченное и изложил тысячелетний труд людей в одной книге.

Все рассказанное нами о трех законах движения составляет в книге Ньютона содержание всего лишь нескольких страниц и служит там чем-то вроде введения. В своей книге Ньютон доказал, что законы движения едины и одинаковы как для Земли, так и для небесных тел. Луна обращается вокруг Земли, планеты обегают Солнце, хвостатые странницы — кометы путешествуют в пространстве. и все небесные светила подчиняются тем же самым законам механики, которые действительны и для яблока, падающего с ветки, и для пыли, подхваченной вихрем на дороге, и для камня, брошенного человеческой рукой. В основе всякого механического движения, где бы оно ни совершалось, лежат простые и естественные законы.

Первый закон Ньютона устанавливает, что происходит с предметом, когда действующие на него силы уравновешены.

Второй закон показывает, что случится с телом, когда на него подействует неуравновешенная сила.

Третий закон указывает, при каком совершенно обязательном условии сила может возникнуть и подействовать на какое-либо тело; если это коренное условие отсутствует, то никакого действия не получится.

# Готемский градоначальник

В Англии очень распространены шуточные рассказы о жителях Готема — сказочного города, из которого, по английским преданиям, расплодились по всему свету дураки. Рассказывают, что в Готеме долго не было градоначальника, потому что готемцы не знали, как среди глупых выбрать самого умного.

Однажды они увидели, что перед большой лужей на городской площади стоит человек и изо всех сил тянет сам себя за волосы кверху.

— Что ты делаешь? — спросили удивленные готемцы этого человека.

— А разве вы не видите? — отвечал им человек. — Я поднимаю сам себя за волосы, для того чтобы перенести свои ноги через эту лужу.

— О-о! — воскликнули готемцы. — Этот человек самый умный среди нас! — И они тотчас же выбрали его градоначальником.

*Самый «умный» житель Готема.*

Но разве может человек приподнять сам себя за волосы? Это просто немыслимо, нелепо, невозможно. Ни один предмет не в состоянии двигаться один сам по себе, всегда требуется участие другого тела. И то, что мы называем силой, есть результат взаимодействия между двумя различными предметами. Один предмет действует на второй, но и сам испытывает на себе действие второго. И в этом смысл и суть третьего закона движения.

В учебниках этот закон в краткой форме записан так: «Всякое действие вызывает равное и противоположно направленное противодействие».

# Опыты Ньютона

Третий закон движения основывается на повседневной практике, на опыте людей; он так же естествен и прост, как и первые два закона, но уяснить его не так-то легко.

Когда Ньютон обдумывал свои первые два закона, он не ставил опытов — для доказательства этих законов было достаточно повседневных наблюдений и опытов других ученых, живших до него. Третий закон нуждался в доказательствах.

Чтобы действие третьего закона движения стало нагляднее и убедительнее, Ньютон предложил несколько опытов.

Из сухой дощечки ученый вырезал две совершенно одинаковые лодочки. Потом он налил в таз воды и пустил туда свои лодочки. В одну лодочку Ньютон положил маленький намагниченный стальной брусок, а в другую точно такой же брусок, но сделанный из простого железа. Обе лодочки Ньютон развел в стороны. Лодочку с железным брусочком он отпустил, а нагруженную магнитом придержал рукой на месте. Повинуясь притяжению магнита, железный брусок потянул свою лодочку, поплыл и вскоре пристал к магниту. Ничего удивительного в этом никто, конечно, не увидел. Уже тогда всем было известно свойство магнита притягивать к себе железные предметы.

Ньютон продолжал свой опыт. Он снова развел лодочки в стороны, но на этот раз удержал на месте лодочку, груженную железным бруском, а лодочку с магнитом отпустил в свободное плавание.

Теперь лодочка с намагниченным «пассажиром», чуть покачиваясь, поплыла к железному бруску.

Если бы Ньютон не знал, какой из брусочков намагничен, он в этом опыте не смог бы отличить их друг от друга: железо притягивалось к магниту точно так же, как магнит притягивался к железу.

*Где магнит?*

После этого Ньютон в третий раз развел лодочки к краям таза и отпустил их. Обе лодочки поплыли навстречу друг другу. Они столкнулись на середине таза и остановились.

Опыт убедил ученого, что магнит притягивает железо с такой же силой, с какой железо притягивает к себе магнит. И мы наблюдаем не действие магнита на железо или железа на магнит, а их взаимодействие.

Именно поэтому обе лодочки сейчас плавают в тазике так спокойно. Если между ними не было бы взаимодействия, рассуждал Ньютон, то опыт привел бы к иным результатам. Представим себе, что только магнит способен притягивать к себе железо. В этом случае лодочка с железным бруском поплывет к магниту, а лодочка с магнитом останется неподвижной. А затем должно произойти нечто невероятное — лодочка с железным бруском, подплывшая к магниту, стукнется о его лодочку и погонит ее в сторону со все возрастающей скоростью. Железо, притягиваемое магнитом, толкало бы его и двигало непрерывно вперед.

Но в действительности так не получается. Лодочки стоят посреди таза, тесно прижавшись друг к другу, нажимая своими краями друг на друга. Действие магнита встречает равное и противоположно направленное противодействие железа, то есть мы наблюдаем не действие одного предмета на другой, а их взаимодействие.

И Ньютон сформулировал свой третий закон:

«Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе — взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны».

Третий закон Ньютона очень часто называют законом действия и противодействия, но правильнее называть его законом взаимодействия, потому что сущность закона состоит именно во взаимодействии тел.

# Содействие дороги

У бутс футболиста на подметках набиты толстые кожаные рубцы и сделаны выступы-шипы. У бегуна на туфлях тоже есть шипы, но уже металлические, тонкие и острые. А у альпиниста на подметках шипы почти такие же, как на лошадиных подковах. Ходить в альпийской или футбольной обуви неудобно, но зато бегать или лазить по горам очень хорошо.

Когда человек идет или бежит, его ноги должны отталкиваться от земли и встречать со стороны дороги равное и противоположно направленное противодействие; иначе говоря, ноге нужно иметь хороший упор. Если же упор окажется недостаточен, то и бегун не сможет двигаться в полную силу.

Очень трудно бежать по рыхлому, зыбкому песку, по вязкой мокрой глине или по земле, покрытой корочкой гололеда. По такому грунту не то что бежать — даже ходить трудно. На рыхлом песке человек тратит много усилий, чтобы каждым своим шагом уплотнять песок, прежде чем он окажется способным дать ноге необходимый упор. А на глине ноги вязнут и расползаются, приходится с усилием отрывать ногу от липкой грязи. На скользком льду катка или во время гололедицы ходить приходится с опаской, слишком легко поскользнуться и упасть — лед не дает ноге надежного упора.

Чтобы быстро бегать, мало иметь резвые ноги. Спортивный успех зависит не только от «действия» ног, но и от содействия дороги.

Об этом содействии заранее заботятся строители стадионов и спортивных площадок: они засыпают беговые дорожки гарью — золой из паровых котлов. Гарь — прекрасный материал; она достаточно тверда, свободно пропускает воду и почти не впитывает ее, всегда суха, легко поддается уплотнению под шипами на туфлях бегунов и не позволяет ногам скользить.

Шипы, вдавливаясь в поверхность дорожки, обеспечивают полезное трение и позволяют твердо ставить ногу, а нога, встречая надежный упор в грунте, использует всю свою силу, чтобы от него оттолкнуться. Таким образом небольшая потеря на трение шипов при вдавливании их в гарь с лихвой возвращается бегуну благодаря надежному взаимодействию с дорогой.

С этой же целью — получить хорошее сцепление с дорогой — колеса и гусеницы тракторов также снабжают шипами, протекторы автомобильных шин делают узорчатыми, а лошадей подковывают. Однако на скользкой или грязной дороге автомобильные шины часто теряют сцепление с дорогой и

начинают буксовать, крутятся на месте, разбрызгивая грязь, а автомобиль не продвигается ни на шаг. Шоферы, когда им предстоит перегон по плохой дороге, предварительно обматывают колеса цепями, и тогда автомобиль легче преодолевает трудные участки пути. Современные грузовые автомобили имеют не одну ведущую ось, а две и цепляются за дорогу всеми четырьмя колесами. Такое устройство, как говорят специалисты, повышает «проходимость» автомобиля.

Способность любой транспортной машины передвигаться зависит не только от мощности ее двигателя, но, в той же степени, и от состояния пути.

# «Пешком» по столбу

Связисты и электромонтеры, которым постоянно приходится взбираться на телеграфные столбы, носят с собой очень простое приспособление, называемое «кошками». «Кошки» — это две железные дуги с острыми зубцами и площадочкой для ноги; они похожи по форме на серпы или на большие рога жука-оленя.

Связист надевает «кошки» на ноги и, ковыляя, потому что передвигаться по земле в «кошках» очень неудобно, подходит к столбу. Тут он охватывает одной «кошкой» столб, ее шипы врезаются в дерево. Связист, придерживаясь руками за столб, переносит всю тяжесть своего тела на «кошку» и одновременно закидывает вторую «кошку» так, чтобы она вцепилась повыше первой. Затем он переносит тяжесть тела на вторую «кошку», а первую переставляет еще выше. Так он «шагает» по гладкому вертикальному столбу, как по лестнице. Острые зубцы «кошек» обеспечивают связисту надежное взаимодействие со столбом — дают ноге хороший упор. Не было бы взаимодействия со столбом — и связист не мог бы влезть на него.

*«Пешком» по столбу.*

Словом, все, что бегает, ползает, прыгает, шагает, летает, плавает, лазает, может двигаться только потому, что находится во взаимодействии с землей, водой, воздухом, рельсами, стволами деревьев, столбами, веревками или лианами в тропическом лесу.

Во всех случаях, без всякого исключения, действие одного предмета всегда встречает равное и противоположно направленное ответное действие (противодействие) со стороны других окружающих предметов.

Слово «противодействие», которое употребил Ньютон, не нужно понимать буквально — ответное действие, оказываемое движущемуся предмету, отнюдь не мешает ему, не действует напротив или наперекор, а, наоборот, именно оно помогает, содействует его движению. Просто появляется сила противодействия, направленная противоположно силе действия.

При этом надо заметить, что действие и ответное действие во всех случаях бывают приложены к разным предметам: действие — к земле, воде, воздуху, рельсам, веревкам, столбам, к асфальту шоссе и так далее, а ответное действие — к ногам, лапам,

колесам, копытам, гусеницам, крыльям, плавникам, пароходным винтам, к пропеллерам самолетов и «кошкам» связистов…

Вывод несколько удивительный. Получается, что мы движемся не столько в силу нашего действия, сколько в силу ответного действия. Когда мы ходим, усилия наших ног направлены на то, чтобы толкать землю, а идем, движемся вперед только потому, что нас толкает земля. Может быть, такой вывод покажется странным, но это так и есть. В Мире без трения, то есть без взаимодействия между телами, человек мог бы только перебирать ногами, но никогда не сумел бы сдвинуться с места.

Когда человек идет, он не замечает, как его «толкает» земля. Всякому кажется, что он сам ходит, но это маленькое заблуждение объясняется тем, что свое действие он сам направляет, оно бросается в глаза, а ответное действие не привлекает внимания. Но можно сделать так, что прямое и ответное действия станут одинаково заметны.

# Белка в колесе

Представим себе, что на рельсах стоит длинная и легкая тележка. Ее оси вращаются в шарикоподшипниках. Подшипники хорошо смазаны, и потому тележка способна перекатываться с одного конца рельсов к другому почти без всякого трения.

На этой тележке, с одного ее края, стоит человек. Попросим этого человека пробежать по тележке к другому ее концу. И как только человек побежит, тележка тоже придет в движение: она покатится в сторону, противоположную движению человека. Человек остановится — и остановится тележка. Человек побежит обратно — и тележка покатится в другую сторону.

Движение человека в одну сторону заставляет тележку двигаться в противоположную сторону. Действие вызывает ответное действие, и они равны между собой: если тележка имеет такую же массу, как человек, то относительно земли она откатится в сторону настолько же, насколько подвинется человек. В незапамятные времена люди придумали игрушку, которая показывает закон взаимодействия простым и убедительным образом.

Случается, охотники приносят домой ребятам на забаву маленьких бельчат. Бельчата растут, привыкают к людям и к жизни в неволе, становятся ручными. Но все-таки им трудно жить в тесных избах. В лесу белка целый день в движении: с ветки на ветку, с дерева на дерево, а в избе ей развернуться негде.

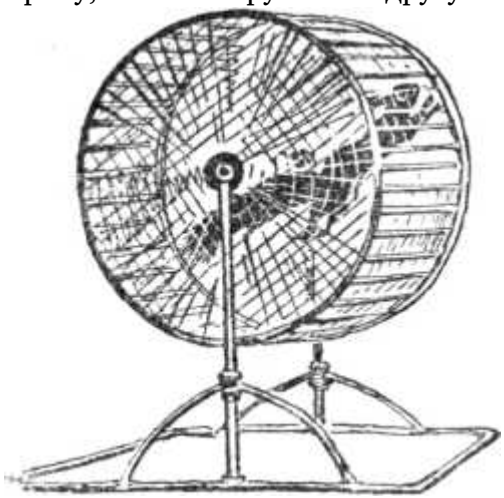
И вот, может быть, тысячу лет назад, люди придумали для белок «физкультуру» — колесо, сделанное наподобие барабана, чтобы белка могла бегать внутри этого колеса. Белку впускают в колесо, и она принимается бегать, а колесо начинает поворачиваться в противоположном направлении и вертится до тех пор, пока бежит в нем белка. Разумеется, беличье колесо надо время от времени останавливать и выпускать зверька, чтобы дать ему отдохнуть и поесть. Белочки глупые — они могут бегать в колесе до изнеможения.

Беличье колесо — замечательное и наглядное доказательство правильности третьего закона движения. Взаимодействие двух тел приводит к тому, что оба тела — и белка и колесо — движутся. В этом случае действие и ответное действие (противодействие) вызывают видимое движение.

И действие и ответное действие равны между собой: когда белка бежит неторопливо, то и колесо крутится медленно, а когда белка ускоряет свой бег, колесо начинает вертеться быстрее.

И действие и ответное действие противоположны: белка

бежит в одну сторону, а колесо крутится в другую.



*«Вечное» движение.*

## Наказание забывчивых

Человек, собирающийся выскочить из лодки на берег, не должен забывать о существовании третьего закона движения. Его действие обязательно вызовет равное и противоположно направленное ответное действие: в момент прыжка лодка отойдет назад, и неосторожный человек окажется не на берегу, а в воде. Бранить третий закон Ньютона бесполезно — надо было попросить сидящих в лодке упереться в дно веслом.

*Неудачный прыжок.*

В истории техники записан случай, когда изобретатели важного и полезного механизма — геликоптера, недостаточно продумав конструкцию, упустили из виду третий закон движения.

Геликоптер, в отличие от обыкновенного самолета, может подниматься в воздух не с разбегу, а вертикально вверх. Подъемную силу этой машине дает большой пропеллер, вращающийся на вертикальной оси.

Когда первый геликоптер испытывали на аэродроме, третий закон движения напомнил о себе. Так как несущий пропеллер вращался справа налево, то в силу третьего закона движения корпус геликоптера стал вращаться в противоположную сторону — слева направо. Геликоптер оказался своеобразной летающей каруселью, в которую ни один пассажир не соглашался сесть.

Этот недостаток геликоптера устранили тем, что поставили на нем два несущих пропеллера, вращающихся в разные стороны. Вот тогда неприятное карусельное движение машины сразу прекратилось, потому что ее винты вращались в разные стороны, и их вредное действие взаимно уничтожилось, а подъемная сила,

направленная вверх, сохранилась.

В одновинтовых геликоптерах ставят дополнительный рулевой пропеллер, который противодействует вращению корпуса.

# Почему движется только паровоз

Все плавающие в воде и по воде: рыбы, утки, бобры, угри, лягушки, жуки-плавунцы и прочие водяные существа, а также пароходы, катера и лодки — движутся вперед только потому, что находятся во взаимодействии с водой. Они гребными винтами, веслами, плавниками, хвостами, лапками отталкивают воду назад, а сами в силу ответного действия плывут вперед.

Всё летающее: самолеты, вертолеты, птицы, бабочки, комары, летучие мыши, а также аэросани и глиссеры — движутся только потому, что находятся во взаимодействии с воздухом. Они отталкивают воздух назад, а сами в силу ответного действия движутся вперед. Но что отталкивают назад обитатели суши, пользующиеся для передвижения ногами и колесами, остается неясным.

Они отталкивают то, что служит для них опорой: паровозы отталкивают рельсы, автомобили и лошади — асфальт шоссейных дорог и мостовых. Рельсы и покрытие шоссейных дорог намертво скреплены с землей, следовательно, все движущееся по земле отталкивает Землю, и земной шар должен поворачиваться в сторону, противоположную движению паровоза или автомобиля. Но масса земного шара составляет многие миллиарды миллиардов тонн. Движение таких ничтожных по сравнению с Землей предметов, как паровозы и автомобили, на скорости вращения нашей планеты не сказывается. Кроме того, все поезда и автомобили движутся в разные стороны, и, когда один поезд едет направо, какой-то другой в это же время едет налево. Каждый автомобиль после работы возвращается обратно в гараж — туда, откуда он выехал утром. При встречном движении транспорта его воздействие на Землю взаимно уничтожается.

# Парашютист и санки

Парашютист выбросился из самолета и падает вниз в затяжном прыжке. Действие в данном случае очевидно — парашютист падает. Но где же ответное действие? Его совершенно незаметно. И таких примеров можно найти великое множество. Дети, забравшись на снежную горку, скатываются с нее на санках, лыжник прыгает с трамплина. Лавина, сорвавшаяся с горы, дождевые капли, падающие из тучи, — во всех случаях падения ответное действие невидимо, неощутимо. Но это еще не значит, что его не существует.

Эту мысль поясняет опыт Ньютона с железным брусочком и магнитом, плававшими в лодочках. Тогда Ньютон убедился, что не магнит притягивает к себе железо и не железо притягивается к магниту, а оба тела взаимодействуют — притягиваются друг к другу.

В опыте Ньютона магнит и железо были одинаковы по весу. Но представьте себе, что для этого опыта взяли очень большой и тяжелый магнит и крошечный железный брусочек. В таком случае магнит только чуть-чуть подвинулся бы к железу, а железный брусочек поплыл бы к магниту гораздо быстрее. То же самое случилось бы и в том случае, если бы кусок железа был большим, а магнит маленьким: движение легкого предмета было бы заметным и наглядным, а ответное движение тяжелого предмета — неощутимым.

Парашютист падает, потому что его притягивает Земля. Но притяжение взаимно: Земля притягивает к себе парашютиста, а парашютист притягивает к себе Землю. Парашютист падает на Землю, а Земля «падает» на парашютиста. Но масса парашютиста по сравнению с массой Земли ничтожна, и потому его движение быстро, а масса Земли огромна, и ее ответное и встречное движение совершенно неуловимо.

Все это целиком и полностью относится и к санкам, скатывающимся с горки. Движение санок — тоже падение, но только происходящее по наклонному пути.

Вот если бы возле Земли проходило какое-нибудь крупное небесное тело, то последствия их взаимного тяготения стали бы заметны. Это наблюдается в действительности. Иногда большие планеты солнечной системы — Юпитер и Сатурн — располагаются в пространстве так, что сила их тяготения заставляет Землю чуть-чуть удаляться от Солнца, тогда длительность нашего года, то есть время обращения Земли вокруг Солнца, увеличивается на несколько минут. Потом большие

планеты уходят дальше по своим орбитам, и наш год снова укорачивается. Так, например, 1946 год был короче 1945 года приблизительно на десять минут, а 1945 год был короче 1944 года минут на одиннадцать.

Такое изменение длины года нашей Земли, зависящее от положения других планет солнечной системы, обнаруживает, как действует третий закон движения далеко за пределами Земли — в безграничном мировом пространстве.

Спутник Земли, Луна, удерживается на своей орбите благодаря притяжению Земли, но и сама притягивает Землю, вызывая на поверхности морей приливную волну и слегка изменяя движение Земли около Солнца.

# Действие и противодействие

Здания, мосты, мебель в комнатах, плоды на ветках, деревья, провода на столбах, корабли в море, тучи на небе, самолеты и воздушные шары за облаками — словом, все, что лежит, стоит, висит, плавает, летает, — не проваливается под землю, не тонет, не падает, не скатывается вниз только потому, что находится во взаимодействии с каким-либо другим предметом. Эти предметы, все равно будь то земля, подставка, подвеска, вода или воздух, являются опорой, и сила тяжести, влекущая все предметы по направлению к центру. Земли, встречает со стороны опоры ответное действие. Это ответное действие мешает силе тяжести приводить предметы в движение, противодействует ей — ее уравновешивает, как одна чашка весов, мешая другой чашке опуститься, уравновешивает ее.

Точно в таком же положении находится корабль, стоящий на якоре и остающийся на месте даже в том случае, когда ветер и течение стремятся его увлечь.

Возникающие при этом силы называются силами реакции. Они уравновешивают действующую на тело силу и помогают ему оставаться в покое.

При постройке моста необходимо предварительно рассчитать, в какой мере мостовые устои способны оказать противодействие той нагрузке, которая на них навалится: смогут ли они ее выдержать, достаточен ли у опор запас противодействия, или, как говорят строители, запас прочности. И строители сооружают устои моста такими, чтобы они могли оказать противодействие любой нагрузке, какая только может проявиться на мосту. Они считают, будто устои давят на мост снизу. Действие всегда равно противодействию — они равносильны, равноправны, и потому строители вправе считать так, как им удобнее.

Точно так же поступают инженеры, проектирующие фундаменты зданий. Они знают, что обыкновенный грунт способен оказывать противодействие тяжести здания с силой примерно в два — три килограмма на каждый квадратный сантиметр фундамента. При этом условии действие, то есть тяжесть всего здания, и противодействие, сопротивление грунта, сжимают фундамент сверху и снизу. На фундамент действуют две одинаковые, но направленные в противоположные стороны силы. Такие силы уравновешиваются и не могут сдвинуть фундамент с места, но сдавливают его, и, если запаса прочности этого фундамента не хватит, он разрушится, а здание обвалится.

# Разрушители машин

Ньютон был первым ученым, установившим причину вращательного движения планет вокруг Солнца. Силой, вызывающей это движение, оказалась сила тяготения.

Еще задолго до Ньютона ученые выяснили, что для того, чтобы тело вращалось, на него должна действовать сила. Но особенно хорошо это видно из законов Ньютона.

Вот мальчик вращает камень на веревке. Он крутит этот камень все быстрее и быстрее, пока веревка не оборвется. Тогда камень полетит куда-то в сторону.

Какая же сила разорвала веревку? Ведь она удерживала камень, вес которого, конечно, не менялся.

Веревку рвет центробежная сила, отвечали ученые до Ньютона.

Это правильно. А что это такое, откуда взялась эта сила?

Раз камень движется по окружности, значит, на него действует сила, изменяющая его движение. Ведь по инерции камень должен двигаться прямолинейно. Эту важную часть первого закона движения иногда забывают.

Движение по инерции всегда прямолинейно. И камень, оборвавший веревку, также полетит по прямой линии.

Сила, исправляющая путь камня, действует на него все время, пока он вращается.

Эта постоянная сила называется центростремительной. Приложена она к камню.

Но тогда, по третьему закону Ньютона, должна появиться сила, действующая со стороны камня на веревку и разная центростремительной.

Эта сила и называется центробежной.

Чем быстрее вращается камень, тем большая сила должна действовать на него со стороны веревки. Ну и, конечно, тем сильнее камень будет тянуть — рвать веревку. Наконец ее запаса прочности может не хватить, веревка разорвется, а камень полетит по инерции теперь уже прямолинейно. Так как он сохраняет свою скорость, то может улететь очень далеко.

Пожалуй, самое древнее оружие человека — праща. Камнем из этой пращи, по библейскому преданию, пастух Давид убил великана Голиафа.

А действует праща точно так же, как и веревка с камнем. Только в ней предварительно раскрученный камень просто отпускается в нужное время.

На стадионах вы часто видите спортсменов — метателей

диска или молота.

*Дискобол.*

И здесь знакомая картина.

Спортсмен кружится все быстрее и быстрее, держа в руках диск, и наконец выпускает его из рук. Диск при этом летит на шестьдесят — семьдесят метров.

Ясно, что при очень больших скоростях во вращающихся телах развиваются и очень большие силы. Эти силы увеличиваются по мере удаления от оси вращения.

Если вращающееся тело хорошо центрировано — ось вращения точно совпадает с осью симметрии тела, — это еще не так страшно. Возникающие силы будут уравновешены. Но в результате плохой центровки могут быть самые неприятные последствия. В этом случае на вал вращающейся машины все время будет действовать неуравновешенная сила, способная при больших скоростях даже сломать этот вал.

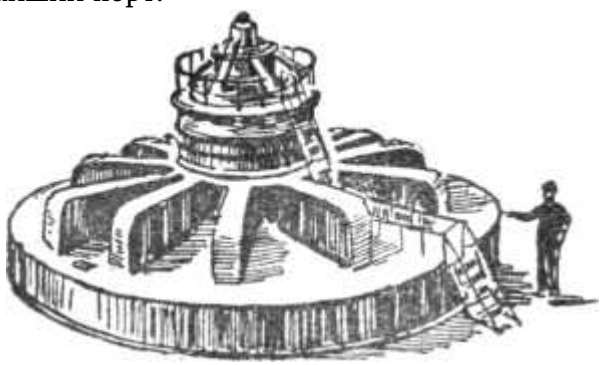
Скорость вращения роторов паровых турбин достигает тридцати тысяч оборотов в минуту. Во время пробных испытаний на заводе работающую турбину выслушивают примерно так же, как врач выслушивает сердце больного человека. Если ротор турбины плохо центрирован, это сразу станет заметно — к ровному пению быстро вращающегося ротора присоединятся тревожные стуки и шумы, предвещающие неминуемую аварию. Турбину останавливают, ротор исследуют и добиваются того, чтобы вращение его стало совершенно плавным.

Уравновешивание центробежных сил составляет предмет постоянных забот инженеров и конструкторов. Эти силы — самые

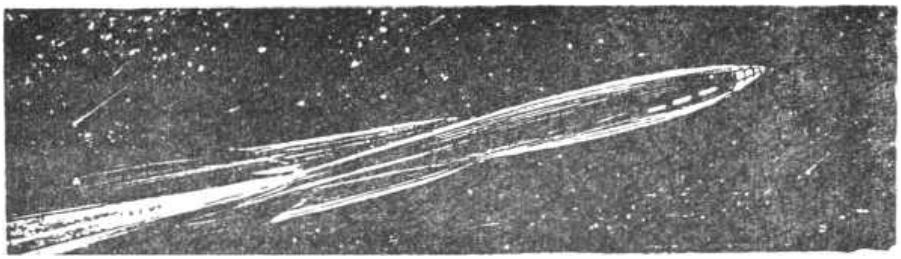
опасные враги машин, они обычно действуют разрушительно.

Замечательный советский ученый-кораблестроитель — академик Алексей Николаевич Крылов, читая лекции студентам, приводил пример такого разрушительного действия. В 1890 году один пароход, имевший на борту свыше тысячи пассажиров, направлялся из Англии в Америку. На этом пароходе были установлены две машины по девяти тысяч лошадиных сил каждая. Инженеры, строившие эти машины, по-видимому, были недостаточно опытны или недостаточно сведущи и пренебрегли третьим законом Ньютона.

В открытом море, когда двигатель работал на полную мощность, одна машина буквально разлетелась на куски, разорванная возникающими при вращении силами. Осколки повредили другую машину и пробили днище. Машинное отделение залило водой. Океанский пароход превратился в поплавок, беспомощно покачивавшийся на волнах. Его взял на буксир другой пароход, который доставил жертву центробежных сил в ближайший порт.



# ПОЧЕМУ ЛЕТИТ РАКЕТА?
# Глава седьмая
# о детских игрушках и каракатицах, о реактивных двигателях и ракетах



# Тележка Ньютона

Как рассказывают современники Ньютона, он изготовил небольшую и легонькую тележку. На тележке ученый укрепил стоечку для пробирки и под ней маленькую чашечку. В пробирку Ньютон налил воды, а в чашечку — спирт. Отверстие пробирки он заткнул пробкой и вставил пробирку в наклонном положении в стойку. Затем положил в спирт кусок ваты и зажег.

Через минуту или две вода в пробирке закипела. Давление появившегося пара вышибло пробку прочь. Она вылетела вместе со струей пара, и в тот же момент тележка покатилась в противоположную сторону, хотя ни во что она не упиралась и ничто ее как будто не толкало.

Противники Ньютона говорили, что тележка покатилась потому, что вырвавшаяся из пробки струя пара и вылетевшая пробка упирались в воздух. Это возражение Ньютон легко опроверг. По сравнению со струйкой пара и пробочкой, тележка, нагруженная стойкой, чашечкой и пробиркой, весьма велика. Ее передняя сторона, упираясь в воздух, встречает несравненно большее сопротивление, чем струйка пара. Воздух в большей степени мешает тележке, чем помогает. В безвоздушном пространстве такая тележка покатилась бы быстрее и дальше, чем на воздухе. Никто ведь не может сказать, что человек, выскакивающий из лодки, упирается в воздух, и будто бы от этого лодка начинает двигаться.

Интересный физический опыт с тележкой Ньютона дает нам наглядное представление о новом типе двигателей, называемых реактивными.

Реактивные двигатели, в отличие от всех остальных, не нуждаются в какой-либо опоре, — можно сказать, что они несут опору в себе или опираются сами на себя.

Ньютон сделал из своего опыта следующий интересный вывод — количество движения, полученное тележкой, в точности равно количеству движения пара и пробки.

Масса тележки больше, она набирает меньшую скорость. Масса пробки и пара меньше, зато скорость их движения во столько же раз больше.

Количество движения пробки направлено в одну сторону, количество движения тележки — в другую. В сумме оба количества движения дают нуль. Иными словами, общее количество движения при этом не изменяется: оно равнялось нулю в начале, когда тележка и пробки были неподвижны; оно равняется нулю и в конце, когда тележка и пробка (вместе с

паром) движутся в разные стороны.

Этот закон стали называть впоследствии законом сохранения количества движения. В истории механики он сыграл огромную роль. Но, по сути дела, это. просто следствие из второго закона движения — основного закона динамики.

Количество движения тела, учит Ньютон, может измениться только под действием внешней силы.

А на тележку в его опыте никакие внешние силы не действовали. Значит, и количество движения для нее должно остаться постоянным, то есть равным нулю, — она ведь стояла на месте.

Вся система — это тележка и вылетевший из пробирки пар. Постоянным должно оставаться количество движения этой системы.

Поэтому количество движения, получаемое тележкой, и количество движения, уносимое паром, равны и противоположно направлены.

# Вертушка Герона

Тележка Ньютона не была первым в мире реактивным двигателем. За тысячу восемьсот лет до опытов Ньютона первый паровой реактивный двигатель сделал замечательный изобретатель Герои Александрийский — древнегреческий механик.

О Героне Александрийском нам известно немногое. Он был сыном брадобрея — парикмахера — и учеником другого знаменитого изобретателя, Ктезибия.

Жил Герон в Александрии примерно две тысячи семьдесят пять лет назад.

В приборе, изобретенном Героном, пар из котла, под которым горел огонь, проходил по двум трубкам в железный шар. Трубки одновременно служили осью, вокруг которой этот шар мог вращаться. Две другие трубки, изогнутые наподобие буквы «Г», были приделаны к шару так, как показано на рисунке.

Когда под котлом разводили огонь, вода закипала и пар устремлялся в железный шар, а из него по изогнутым трубкам с силой вылетал наружу. Шар при этом вращался в сторону, противоположную той, в которую вылетали струи пара.

Эту вертушку можно назвать первой в мире паровой реактивной турбиной.

*Геронов шар.*

# Китайская ракета

Еще раньше, за много лет до Герона Александрийского, в Китае тоже изобрели реактивный двигатель несколько иного устройства, называемый ныне фейерверочной ракетой. Фейерверочные ракеты не следует смешивать с их тезками — сигнальными ракетами, которые применяют в армии и флоте, а также пускают в дни всенародных праздников под грохот артиллерийского салюта. Сигнальные ракеты — это просто пули, спрессованные из вещества, горящего цветным пламенем. Ими выстреливают из крупнокалиберных пистолетов — ракетниц.

Китайская ракета представляет собой картонную или металлическую трубку, закрытую с одного конца и наполненную пороховым составом. Когда эту смесь поджигают, струя газов, вырываясь с большой скоростью из открытого конца трубки, заставляет ракету лететь в сторону, противоположную направлению газовой струи.

*Ракета в полете.*

Взлетать такая ракета может без помощи пистолета-ракетницы. Палочка, привязанная к корпусу ракеты, делает ее полет более устойчивым и прямолинейным.

В мире животных также встречается реактивное движение. Каракатицы, осьминоги и некоторые другие головоногие моллюски не имеют ни плавников, ни мощного хвоста, а плавают

не хуже прочих обитателей моря. У этих мягкотелых существ в теле имеется довольно вместительный мешок или полость. В полость набирается вода, а затем животное с большой силой выталкивает эту воду наружу. Реакция выброшенной воды заставляет животное плыть в сторону, противоположную направлению струи.

## Падающая кошка

Но самый интересный способ движения продемонстрировала обыкновенная кошка.

Лет восемьдесят пять назад известный французский физик Марсель Депре заявил:

— А знаете ли, законы Ньютона не совсем верны. Тело может двигаться с помощью внутренних сил, ни на что не опираясь и ни от чего не отталкиваясь.

— Где доказательства, где примеры? — протестовали слушатели.

— Хотите доказательств? Извольте. Кошка, нечаянно сорвавшаяся с крыши, — вот доказательство! Как бы кошка ни падала, хоть головой вниз, на землю она обязательно встанет всеми четырьмя лапками. Но ведь падающая кошка ни на что не опирается и ни от чего не отталкивается, а переворачивается быстро и ловко. (Сопротивлением воздуха можно пренебречь — оно слишком ничтожно.)

Действительно, это знают все: кошки, падая, ухитряются всегда становиться на ноги.

*Кошка и третий закон.*

Кошки это делают инстинктивно, а человек может сделать то же самое сознательно. Пловцы, прыгающие с вышки в воду, умеют выполнять сложную фигуру — тройное сальто, то есть трижды перевернуться в воздухе, а потом вдруг выпрямиться, приостановить вращение своего тела и уже по прямой линии нырнуть в воду.

Такие же движения, — без взаимодействия с каким-либо посторонним предметом, случается наблюдать в цирке во время выступления акробатов — воздушных гимнастов.

Падающую кошку сфотографировали киносъемочным аппаратом и потом на экране рассматривали кадр за кадром, что делает кошка, когда летит в воздухе.

Оказалось, что кошка быстро вертит лапкой.

Вращение лапки вызывает ответное движение— реакцию всего туловища, и оно поворачивается в сторону, противоположную движению лапки. Все происходит в строгом соответствии с законами Ньютона, и именно благодаря им кошка становится на ноги.

То же самое происходит во всех случаях, когда живое существо без всякой видимой причины изменяет свое движение в воздухе.

# Водометный катер

У изобретателей появилась мысль, а почему бы не перенять у каракатиц их способ плавания. Они решили построить самоходное судно с водно-реактивным двигателем. Идея безусловно осуществимая. Правда, уверенности в удаче не было: изобретатели сомневались, получится ли такой водометный пароход лучше обычного винтового. Надо было сделать опыт.

Выбрали старый буксирный пароход, починили его корпус, сняли гребные винты, а в машинном отделении поставили насос-водомет. Этот насос качал забортную воду и через трубу выталкивал ее за корму сильной струей. Пароход плыл, но двигался он все же медленнее винтового парохода. И это объясняется просто: обычный гребной винт вращается за кормой ничем не стесненный, вокруг него только вода; воду в водометном насосе приводил в движение почти точно такой же винт, но вращался он уже не на воде, а в тесной трубе. Возникало трение водяной струи о стенки. Трение ослабляло напор струи. Пароход с водометным движителем плыл медленнее винтового и топлива расходовал больше.

Однако от постройки таких пароходов не отказались: у них нашлись важные преимущества. Судно, снабженное гребным винтом, должно сидеть в воде глубоко, иначе винт будет без толку пенить воду или вертеться в воздухе. Поэтому винтовые пароходы боятся отмелей и перекатов, они не могут плавать по мелководью. А водометные пароходы можно строить мелкосидящими и плоскодонными: им глубина не нужна — где пройдет лодка, там пройдет и водометный пароход.

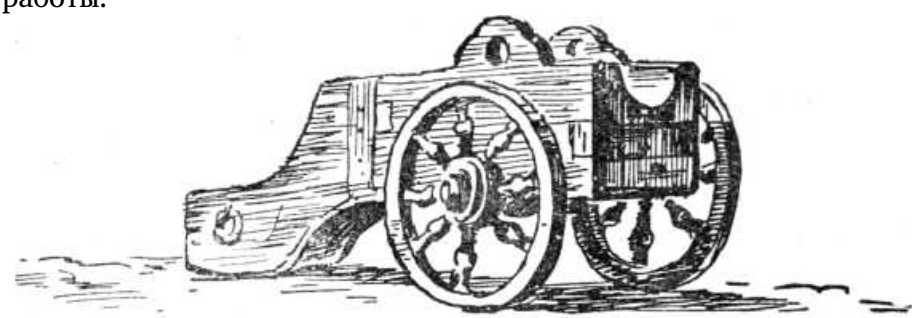
Первые водометные катера в Советском Союзе построены в 1953 году на Красноярской судостроительной верфи. Они предназначены для малых рек, где обычные пароходы не могут плавать.

# Отдача и откат

Особенно прилежно инженеры, изобретатели и ученые занялись исследованием реактивного движения при появлении огнестрельного оружия. Первые ружья — всевозможные пистоли, мушкеты и самопалы — при каждом выстреле сильно ударяли человека в плечо. После нескольких десятков выстрелов плечо начинало так болеть, что солдат уже не мог целиться. Первые пушки — пищали, единороги, кулеврины и бомбарды — при выстреле отпрыгивали назад, так что, случалось, калечили пушкарей-артиллеристов, если они не успевали увернуться и отскочить в сторону.

Отдача орудия мешала меткой стрельбе, потому что пушка вздрагивала раньше, чем ядро или граната вылетали из ствола. Это сбивало наводку. Стрельба получалась неприцельной.

Инженеры-артиллеристы начали борьбу с отдачей более четырехсот лет назад. Сначала лафет снабдили сошником, который врезался в землю и служил прочным упором для пушки. Тогда думали, что если хорошенько подпереть пушку сзади, так чтобы ей некуда было откатываться, то отдача исчезнет. Но это была ошибка. Не был принят во внимание закон сохранения количества движения. Пушки ломали все подпорки, а лафеты так расшатывались, что орудие становилось непригодным для боевой работы.



*Лафет старинного орудия.*

Тогда изобретатели поняли, что законы движения, как и всякие законы природы, нельзя переделать по-своему, их можно только «перехитрить» с помощью науки — механики.

У лафета они оставили сравнительно небольшой сошник для упора, а ствол пушки положили на «салазки» так, чтобы откатывался только один ствол, а не все орудие целиком. Ствол соединили с поршнем компрессора, который ходит в своем цилиндре точно так же, как поршень паровой машины. Но в

цилиндре паровой машины — пар, а в орудийном компрессоре — масло и пружина (или сжатый воздух).

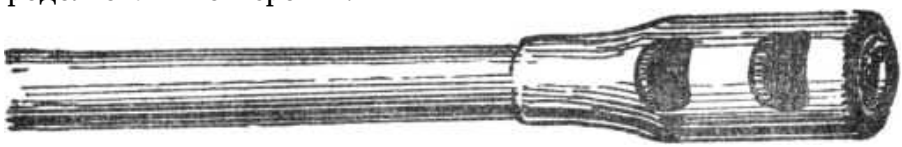
Когда ствол пушки откатывается назад, поршень сжимает пружину. Масло же в это время сквозь мелкие отверстия в поршне продавливается по другую сторону поршня. Возникает сильное трение, которое частично поглощает движение откатывающегося ствола, делает его более медленным и плавным. Потом сжатая пружина расправляется и возвращает поршень, а вместе с ним и ствол орудия на прежнее место. Масло нажимает на клапан, открывает его и свободно перетекает снова под поршень. Во время беглого огня ствол орудия почти непрерывно движется вперед и назад.

В орудийном компрессоре отдача поглощается трением.

# Дульный тормоз

Когда мощность и дальнобойность пушек возросла, компрессора оказалось недостаточно, чтобы обезвредить отдачу. В помощь ему был изобретен дульный тормоз.

Дульный тормоз — это всего лишь короткая стальная труба, укрепленная на срезе ствола и служащая как бы его продолжением. Диаметр ее больше диаметра канала ствола, и поэтому она нисколько не мешает снаряду вылетать из дула. В стенках трубки по окружности прорезано несколько продолговатых отверстий.



*Дульный тормоз.*

Пороховые газы, вылетающие из ствола орудия вслед за снарядом, сразу же расходятся в стороны, и часть их попадает в отверстия дульного тормоза. Эти газы с большой силой ударяются о стенки отверстий, отталкиваются от них и вылетают наружу, но уже не вперед, а немного вкось и назад. При этом они давят на стенки вперед и толкают их, а вместе с ними и весь ствол орудия. Они помогают лафетной пружине потому, что стремятся вызвать откат ствола вперед. А в то время, пока они находились в стволе, они толкали орудие назад. Дульный тормоз значительно уменьшает и ослабляет отдачу.

Другие изобретатели пошли иным путем. Вместо того чтобы бороться с реактивным движением ствола и стараться его погасить, они решили применить откат орудия с пользой для дела. Эти изобретатели создали много образцов автоматического оружия: винтовок, пистолетов, пулеметов и пушек, в которых отдача служит для того, чтобы выбрасывать использованную гильзу и перезаряжать оружие.

# Реактивная артиллерия

Можно совсем не бороться с отдачей, а использовать ее: ведь действие и реакция (отдача) равносильны, равноправны, равновелики, так пусть же реактивное действие пороховых газов, вместо того чтобы отталкивать назад ствол орудия, посылает снаряд вперед в цель. Так была создана реактивная артиллерия. В ней струя газов бьет не вперед, а назад, создавая в снаряде направленную вперед реакцию.

Для реактивного орудия оказывается ненужным дорогой и тяжелый ствол. Для направления полета снаряда прекрасно служит более дешевая, простая железная труба. Можно обойтись вовсе без трубы, а заставить снаряд скользить по двум металлическим рейкам.

По своему устройству реактивный снаряд подобен фейерверочной ракете, он только размерами побольше. В его головной части вместо состава для цветного бенгальского огня помещается разрывной заряд большой разрушительной силы. Середина снаряда наполняется порохом, который при горении создает мощную струю горячих газов, толкающих снаряд вперед. При этом сгорание пороха может длиться значительную часть времени полета, а не только тот короткий промежуток времени, пока обычный снаряд продвигается в стволе обычной пушки. Выстрел не сопровождается таким громким звуком.

Р*еактивная артиллерия.*

Реактивная артиллерия не моложе обыкновенной артиллерии, а может быть, даже старше ее: о боевом применении ракет сообщают старинные китайские и арабские книги, написанные более тысячи лет назад.

В описаниях сражений более поздних времен нет-нет, да и

промелькнет упоминание о боевых ракетах. Когда английские войска покоряли Индию, индийские воины-ракетчики своими огнехвостыми стрелами наводили ужас на захватчиков-англичан, порабощавших их родину. Для англичан в то время реактивное оружие было в диковинку.

Ракетными гранатами, изобретенными генералом К. И. Константиновым, мужественные защитники Севастополя в 1854–1855 годах отбивали атаки англо-французских войск.

Ракета — старинное оружие.

Огромное преимущество перед обыкновенной артиллерией — отпадала необходимость возить за собой тяжелые пушки — привлекло к реактивной артиллерии внимание военачальников. Но столь же крупный недостаток мешал ее усовершенствованию. Дело в том, что метательный, или, как раньше говорили, форсовый, заряд умели делать только из черного пороха. А черный порох опасен в обращении. Случалось, что при изготовлении ракет метательный заряд взрывался, и гибли рабочие. Иногда ракета взрывалась при запуске, и гибли артиллеристы. Изготовлять и употреблять такое оружие было опасно. Поэтому оно и не получило широкого распространения.

Этот недостаток устранили советские конструкторы и изобретатели. В годы Великой Отечественной войны они дали нашей армии превосходное реактивное оружие. Были построены гвардейские минометы — «катюши» и изобретены РС («эрэс») — реактивные снаряды.

По своему качеству советская реактивная артиллерия превзошла все иностранные образцы и причиняла врагам громадный урон.

# Вековая мечта

Уже много веков люди лелеют мечту о полетах в межпланетном пространстве, о посещении Луны, загадочного Марса и облачной Венеры. На эту тему написано множество научно-фантастических романов, повестей и рассказов. Писатели отправляли своих героев в заоблачные дали на дрессированных лебедях, на воздушных шарах, в пушечных снарядах или еще каким-нибудь невероятным образом. Однако все эти способы полета основывались на выдумках, не имевших опоры в науке. Люди только верили, что они когда-нибудь сумеют покинуть нашу планету, но не знали, как это им удастся осуществить.

Наш замечательный ученый Константин Эдуардович Циолковский в 1903 году впервые дал научную основу идее космических путешествий. Он доказал, что люди могут покинуть земной шар и транспортным средством для этого послужит ракета, потому что ракета — единственный двигатель, который не нуждается для своего движения в какой-либо внешней опоре. Поэтому ракета способна летать в безвоздушном пространстве.

По своему устройству космический корабль должен быть подобен реактивному снаряду, только в его головной части поместится кабина для пассажиров и приборов, а все остальное пространство будет занято запасом горючей смеси и двигателем.

Чтобы придать кораблю нужную скорость, требуется подходящее топливо. Порох и другие взрывчатые вещества ни в коем случае не пригодны: они и опасны и слишком быстро сгорают, не обеспечивая длительного движения. К. Э. Циолковский рекомендовал применять жидкое топливо: спирт, бензин или сжиженный водород, горящие в струе чистого кислорода или какого-либо другого окислителя. Правильность этого совета признали все, потому что лучшего топлива тогда не знали.

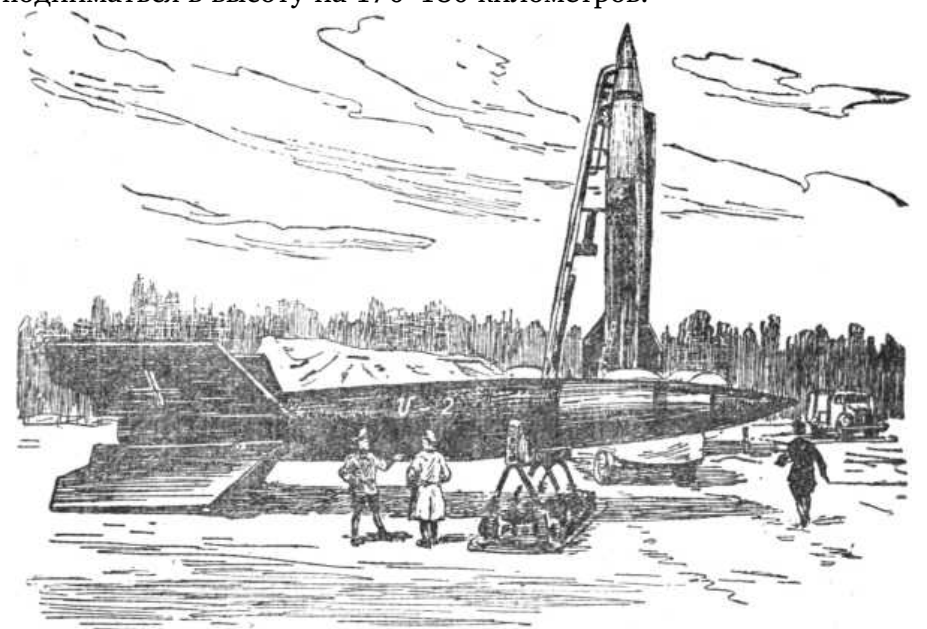
Первая ракета с жидким горючим, весившая шестнадцать килограммов, была испытана в Германии 10 апреля 1929 года. Опытная ракета взлетела в воздух и скрылась из вида раньше, чем изобретатель и все присутствующие сумели проследить, куда она полетела. Найти ракету после опыта не удалось. На следующий раз изобретатель решил «перехитрить» ракету и привязал к ней веревку длиной четыре километра. Ракета взвилась, волоча за собой веревочный хвост. Она вытянула два километра веревки, оборвала ее и последовала за своей предшественницей в неизвестном направлении. И эту беглянку также не удалось найти.

Первый успешный полет ракеты с жидким топливом состоялся в СССР 17 августа 1933 года. Ракета поднялась, пролетела положенное ей расстояние и благополучно приземлилась.

Начатые успешно работы, однако, не привели к постройке межпланетного корабля. Немецкие фашисты подготовили и развязали кровопролитную мировую войну. Защищая Родину, советский народ был вынужден поставить все достижения ракетной техники на службу обороны.

В фашистских государствах многие ученые и инженеры еще до войны усиленно разрабатывали проекты бесчеловечных орудий разрушения и массовых убийств. Это они считали целью науки.

Во время войны гитлеровские инженеры построили несколько сот самоуправляющихся самолетов: снарядов «ФАУ-1» и реактивных снарядов «ФАУ-2». То были сигарообразные снаряды, имевшие в длину 14 метров и в диаметре 165 сантиметров. Весила смертоносная сигара 12 тонн; из них 9 тонн — топливо, 2 тонны — корпус и 1 тонна — взрывчатое вещество. «ФАУ-2» летели со скоростью до 5500 километров в час и могли подниматься в высоту на 170–180 километров.



*«ФАУ-2».*

Точностью попадания эти средства разрушения не отличались и были пригодны только для обстрела таких крупных мишеней, как большие и густонаселенные города. Немецкие фашисты выпускали «ФАУ-2» за 200–300 километров от Лондона

в расчете, что город велик, — куда-нибудь да попадет!

Вряд ли Ньютон мог предполагать, что его остроумный опыт и открытые им законы движения лягут в основу оружия, созданного звериной злобой к людям, и целые кварталы Лондона обратятся в развалины и станут могилами людей, захваченных налетом слепых «ФАУ».

*Советский реактивный самолет «ТУ-104».*

## «Исправление» книги

Исаак Ньютон, в отличие от Галилея, жил и трудился уже после того, как буржуазия захватила власть в свои руки. Она теперь почувствовала себя законодателем жизни, старалась всячески укрепить свое господство, устраивалась накрепко, думала, что навсегда. Ради этого английская буржуазия пошла на соглашение с феодалами, сумела сговориться с церковью и старалась подчинить себе религию. После своей победы буржуазия уже не могла допустить, чтобы научные труды как-либо задевали религию и умаляли ее влияние на народ.

Ньютон был человеком осторожным и предусмотрительным. Он не хотел так же смело выступать в защиту науки, как Галилей. Ньютон даже согласился внести в свою книгу «Математические начала натуральной философии» некоторые исправления: из нее исчезло все, что слишком явно противоречило библии.

Случилось это так. Известный английский физик Роберт Бойль, умирая, оставил завещание и назначил крупную сумму на чтение ежегодных лекций в защиту религии и против безбожия.

В 1692 году чтение лекций, по завещанию Бойля, начал Ричард Бентлей, епископ и ректор того университета, в котором в свое время учился Ньютон. В основу своих лекций Бентлей положил «Математические начала натуральной философии». Он внимательно прочел эту книгу и заметил, что в ней кое-какие мысли противоречат религиозным воззрениям, — например, если поверить в существование трех законов движения, оказывается, что богу в мире делать нечего. Он становится ненужным и даже излишним — всякое движение объясняется действием сил, инерцией и взаимодействием тел. Могущественный церковный вельможа обратился к Ньютону за разъяснениями. Ньютон согласился с Бентлеем и обещал внести исправления в книгу, так как именно в это время он подумывал о ее переиздании. Епископ Бентлей порекомендовал Ньютону взять в помощники и редакторы молодого профессора — математика Котса.

Котс энергично взялся за дело. Он работал очень старательно — исправил множество мелких ошибок в вычислениях, которые вкрались в первое издание. Целые страницы приходилось переписывать заново. Котс оказал Ньютону огромную помощь, так как сам Ньютон уже состарился и подобная работа была ему не по силам. Попутно, по указаниям Бентлея, Котс устранил из книги все, что могло поколебать веру в бога. После такого «редактирования» книга Ньютона заметно изменилась. Теперь Ньютон, может быть даже против своей воли, доказывал, что цель

науки — это… познание «премудрости божьей».

В результате всех переделок в книге Ньютона получилось так, что природа мертва, неподвижна, инертна, а жизнь и движение ей будто бы сообщает бог, который обитает в безвоздушном межпланетном пространстве.

Умер Ньютон, окруженный всеобщим почетом, в ночь с 20 на 21 марта 1727 года. Это был бесспорно один из величайших гениев человечества, но и на его научную деятельность наложила свой отпечаток эпоха, в которую он жил.

* * *

Так через заблуждения и ошибки, сквозь туман церковных суеверий и догм пробивала себе путь наука о движении.

Аристотель, Галилей, Ньютон и многие другие ученые неустанным трудом, кропотливыми поисками, смелыми теориями обогащали ее. Но и у них также бывали заблуждения, иногда, как у Аристотеля, очень значительные. Ведь каждый из них был сыном своего века, своего социального строя.

Со времени Ньютона прошло много лет. В сложном процессе познания мира наука продвинулась далеко вперед. Механика, основы которой заложили великие ученые Аристотель, Галилей и Ньютон, разрослась сказочно. На ее базе выросли такие науки, как теоретическая механика, сопротивление материалов, гидравлика, аэро-, гидро- и газодинамика и множество других.

Появилось много новых теорий, среди которых основа современной науки — теория относительности Эйнштейна. Ученые сумели проникнуть в глубины мельчайших частичек материи и установить многие законы их взаимодействия.

Но эта многолетняя и всесторонняя проверка только подтвердила правильность трех основных законов движения, носящих имя Ньютона.

**notes**

# Примечания

# 1

От этого древнегреческого учреждения происходит название современной Академии наук.

# 2

При начальной скорости 600 метров в секунду и при выстреле под углом в 20 градусов к плоскости горизонта.

# 3

Узел — морская мера скорости; один узел составляет 1852 метра в час.